



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

**NÁVRH PŘÍRODĚ BLÍZKÝCH OPATŘENÍ
NA VODNÍM TOKU BOBRAVA**

PROPOSAL FOR THE NATURE FRIENDLY MEASURES ON THE RIVER BOBRAVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Mláděnka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. HANA UHMANNOVÁ, CSc.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jakub Mláděnka
Název	Návrh přírodě blízkých opatření na vodním toku Bobrava
Vedoucí práce	Ing. Hana Uhmannová, CSc.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Raplík M., Výbora P., Mareš K. (1989). Úprava tokov, Alfa, Bratislava.
Mareš K. (1997). Úpravy toků, ČVUT, Praha.
Chow, Ven Te. (1959). Open Channel Flow. Mc Graw Hill Book Company.
Kolář, V., Patočka, C., Bém, J. (1983). Hydraulika. SNTL/ALFA. Praha.
Jandora, J., Uhmánová, H. (2006). Proudění v systémech říčních koryt. VUT FAST Brno.
Macura, V., Izakovičová, Z. Krajinoekologické aspekty revitalizácie tokov. Slovenská technická univerzita v Bratislave. 2000.
Šlezinger, M. Revitalizace vodních toků. VUT Brno, VUTIUM. Brno. 2011

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Předmětem diplomové práce je posouzení stavu odtokových poměrů a návrh přírodně blízkých opatření na vodním toku Bobrava. Vymezení řešeného úseku bude provedeno při předání podkladů. V rámci diplomové práce proveďte:

- posouzení stavu vodního toku v řešené lokalitě,
- posouzení kapacity toku a objektů na toku (mosty, lávky, apod.),
- stanovení průběhu hladin velkých vod,
- posouzení současného stupně protipovodňové ochrany obce,
- ideový návrh opatření na zvýšení ochrany přilehlého území a zlepšení stavu vodního toku z hlediska metodiky HEM.

Diplomová práce bude obsahovat:

Textovou část – Úvod, popis řešené lokality, popis stávajícího stavu vodního toku, hydrotechnické výpočty, návrh potřebných opatření, zhodnocení návrhu, závěr.

Přílohy – výkresová dokumentace v rozsahu studie (situace řešeného úseku, podélný profil toku a výkresy dle charakteru popisovaných a navržených opatření).

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Hana Uhmánová, CSc.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je podrobné popsání a posouzení současného stavu toku Bobrava v zájmové lokalitě od ř. km 1,832 do ř. km 5,743. Součástí práce je posouzení kapacity koryta toku a objektů na něm umístěných a také určení současného stupně protipovodňové ochrany obce Želešice. Výpočet průběhu hladin je prováděn pomocí 1D matematického modelu HEC-RAS pro vybrané N-leté průtoky. Na základě výsledků šetření je vytvořen ideový návrh přírodě blízkých protipovodňových opatření pro bezpečné provedení návrhového průtoku Q_{20} . Výsledkem je návrh úprava koryta toku ve dvou variantách, kdy každá varianta zabezpečí ochranu obce Želešice a povede ke zlepšení současného stavu toku Bobrava.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bobrava, Želešice, Povodí Moravy, s.p., kapacita koryta, výpočet průtoku, HEC-RAS, posouzení stavu, protipovodňová ochrana, návrhový průtok, most, povodňová zeď, přírodě blízké protipovodňové opatření

ABSTRACT

The aim of the diploma thesis is to describe and evaluate in detail the current state of the Bobrava river in the interest section – river kilometer 1,832-5,743. Part of the work is to assess the capacity of the river flow and the objects connected with it and find the class of an actual safety at village Zelesice. The calculation of the flow rate is performed by using the 1D mathematical model HEC-RAS for selected N-year flows. On the basis of the results of the flow rate, it is made the idea of natural freindly flood protection before the value of the 20-year flow. The result is two variants of river basin adjustment, when each one is leading to make Zelesice safer place and to improve the current state of the river Bobrava.

KEYWORDS

Bobrava, Zelesice, Povodí Moravy, s.p., capacity of the channel, flow calculation, HEC-RAS, condition assessment, flood protection, design flow, bridge, flood wall, natural freindly flood protection

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Jakub Mláděnka *Návrh přírodě blízkých opatření na vodním toku Bobrava*. Brno, 2019. 89 s., 145 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Hana Uhmánková, CSc.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Návrh přírodě blízkých opatření na vodním toku Bobrava* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 1. 2019

Bc. Jakub Mláděnka
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Návrh přírodě blízkých opatření na vodním toku Bobrava* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2019

Bc. Jakub Mláděnka
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto způsobem velice poděkoval paní Ing. Haně Uhmannové, CSc. za odborné vedení diplomové práce, za trpělivost a ochotu při konzultacích, za poskytnutí odborných rad a hlavně za čas, který si pro mě vždy ve svém nabitém programu dokázala najít. Také bych chtěl poděkovat za to, že jsem se kdykoliv v průběhu mého studia mohl na ni obrátit s jakoukoliv záležitostí a vždy mi byla nápomocna.

OBSAH

1	ÚVOD.....	12
2	ZÁKLADNÍ INFORMACE.....	13
2.1	SPRÁVNÍ ÚDAJE.....	13
2.2	ÚDAJE O POVODÍ.....	13
2.3	GEOLOGICKÉ POMĚRY.....	14
2.4	KLIMATICKÉ PODMÍNKY.....	15
2.5	HYDROLOGICKÉ POMĚRY	16
2.6	ÚDAJE O ZEMĚDĚLSTVÍ	18
2.7	ÚDAJE O LESNICTVÍ	19
2.8	ÚDAJE O PRŮMYSLU.....	19
2.9	POŽADAVKY NA ODBĚR	20
2.10	VYPOUŠTĚNÍ VOD	20
2.11	SPLAVNOST TOKU.....	20
2.12	ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	20
2.13	KVALITA VOD.....	21
2.14	ENERGETICKÉ VYUŽITÍ	22
2.15	POVODNĚ.....	22
2.15.1	Záplavové území	23
2.16	RYBÁŘSKÝ REVÍR.....	24
3	STÁVAJÍCÍ STAV TOKU.....	25
3.1	POPIS ZÁJMOVÉ LOKALITY.....	25
3.2	POPIS DNA A PODÉLNÉHO SKLONU	26
3.2.1	Určení drsnosti dna.....	26
3.3	ROZDĚLENÍ NA DÍLČÍ ÚSEKY	26
3.4	ÚSEK Č. 1 – Ř. KM 1,832 – 2,481	27
3.4.1	Popis příčného řezu	27
	Opevnění svahů	27
	Manningův součinitel drsnosti – svahy koryta toku	30
3.4.2	Protipovodňová ochrana.....	30
3.4.3	Mosty a lávky.....	31
	Lávka L1 pro pěší	31
3.4.4	Křížení inženýrské sítě s tokem	31
3.4.5	Spádové stupně.....	32
3.4.6	Vyústní objekty	32
3.5	ÚSEK Č. 2 – Ř. KM 2,481 – 3,800	33
3.5.1	Popis příčného řezu	33
	Opevnění svahů	33
	Manningův součinitel drsnosti – svahy koryta toku	34
3.5.2	Protipovodňová ochrana.....	35

3.5.3	Mosty a lávky.....	35
3.5.4	Odběr vody.....	36
3.5.5	Přítoky.....	36
3.6	ÚSEK Č. 3 – Ř. KM 3,800 – 5,743.....	36
3.6.1	Popis řešeného úseku	36
3.6.2	Popis příčného řezu	37
	Opevnění svahů	38
	Manningův součinitel drsnosti – svahy koryta toku	38
3.6.3	Mosty a lávky.....	39
	Most M1	39
	Most M2	40
	Lávka L2 pro pěší	40
	Lávka L3 pro pěší	41
	Lávka L4 pro pěší	41
3.6.4	Spádový stupeň	42
3.6.5	Přítoky	42
3.6.6	Jezová konstrukce a náhon	43
4	HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY	44
4.1	PROGRAM HEC-RAS	44
4.1.1	Ustálené proudění (Steady flow).....	44
4.1.2	Geometrická data.....	44
	Profily	44
	Mosty a lávky pro pěší.....	45
	Manningův součinitel drsnosti n.....	45
4.1.3	Okrajové podmínky.....	45
4.2	STANOVENÍ KAPACITY SOUČASNÉHO KORYTA	45
5	HYDROEKOLOGICKÝ MONITORING – HEM.....	53
5.1	ÚVOD DO PROBLEMATIKY	53
5.2	VÝCHODISKA METODIKY	53
5.3	VYMEZENÍ SLEDOVANÝCH JEDNOTEK	53
5.4	HIERARCHICKÝ PRINCIP HODNOCENÍ	54
5.5	SLEDOVANÉ UKAZATELE	54
5.5.1	Koryto.....	54
5.5.2	Říční břehy a příbřežní zóna	55
5.5.3	Inundační území	55
5.6	PODKLADY PRO MAPOVÁNÍ	55
5.6.1	Pomůcky pro terénní mapování.....	55
5.7	POSTUP PŘI MAPOVÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT	56
5.7.1	Spolehlivost stanovení dat	56
5.8	MAPOVÁNÍ A ZÍSKÁNÍ DAT IN SITU	56
5.9	VYHODNOCENÍ DAT	57

5.9.1	Princip hodnocení	57
5.9.2	Postup hodnocení	57
	Skórování hydromorfologické kvality hodnocených ukazatelů.....	57
	Výpočet hydromorfologické kvality úseku.....	58
	Klasifikace hydromorfologického stavu úseku.....	59
	Výpočet hydromorfologické kvality vodního útvaru.....	59
	Klasifikace hydromorfologického stavu vodního útvaru	59
5.9.3	Výsledky.....	60
	Úsek č. 1	60
	Úsek č. 2	60
	Úsek č. 3	61
	Porovnání úseků	61
	Hydromorfologická kvalita vodního útvaru	62
5.10	ZÁVĚR HODNOCENÍ HEM	62
6	POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU	63
6.1	STAV KORYTA	63
6.1.1	Úsek č. 1.....	63
6.1.2	Úsek č. 2.....	63
6.1.3	Úsek č. 3.....	64
6.2	PRŮBĚH HLADIN, ROZLIVY, KAPACITA KORYTA	64
6.2.1	Úsek č. 1.....	64
6.2.2	Úsek č. 2.....	64
6.2.3	Úsek č. 3.....	65
6.2.4	Mosty a lávky.....	65
7	IDEOVÝ NÁVRH PŘÍRODĚ BLÍZKÝCH OPATŘENÍ A ZLEPŠENÍ SOUČASNÉHO STAVU VODÍHO TOKU BOBRAVA	66
7.1	PŘÍRODĚ BLÍZKÉ PROTIPOVODŇOVÉ OPATŘENÍ.....	67
7.1.1	Úvod a pojmy.....	67
7.1.2	Revitalizace vodních toků	67
7.1.3	Ekologická funkce a rekreační hodnota vodního toku	67
7.2	NÁVRHOVÝ PRŮTOK.....	67
7.3	VEGETAČNÍ DOPROVOD	68
7.4	NÁVRH VARIANT	68
7.5	VARIANTA A.....	69
7.5.1	SO1 – Úprava dna koryta toku.....	69
7.5.2	SO2 – Úprava tvaru koryta toku	69
7.5.3	SO3 – PB železobetonová ochranná zeď.....	70
7.5.4	SO4 – LB železobetonová ochranná zeď.....	71
7.5.5	SO5 – LB přírodní ochranný val	71
7.5.6	SO6 a SO7 – Úprava tvaru koryta toku, pravého břehu.....	72
7.5.7	SO8 – Úprava tvaru koryta toku	73

7.5.8	SO9 – LB přírodní ochranný val	73
7.5.9	SO10 – Odstranění jezové konstrukce	74
7.6	VARIANTA B.....	74
7.6.1	SO11 – LB ochranná hráz	75
7.6.2	SO12 – LB přírodní ochranný val.....	75
7.6.3	SO13 – Rekreační zóna	76
7.7	MOSTY A LÁVKY.....	77
7.8	KOLIZE SE STÁVAJÍCÍ VEGETACÍ	77
7.9	DOPLŇKOVÉ PŘÍČNÉ PROFILY	77
7.10	ANALÝZA PRŮBĚHU HLADINY PO NAVRŽENÍ PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANY.....	77
7.11	ZHODNOCENÍ VARIANT	80
8	ZÁVĚR.....	81
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	82
9.1	FOTODOKUMENTACE.....	83
10	SEZNAM TABULEK.....	84
11	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	85
12	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	88
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	89

1 ÚVOD

Diplomová práce se zabývá celkovou situací toku Bobrava v okolí a v intravilánu obce Želešice v řešené lokalitě od ř. km 1,832 až do říčního kilometru 5,743. Z historických podkladů je zřejmé, že tok Bobrava během 20. století neprošel žádnou větší technickou úpravou koryta toku a ani nebyla nijak výrazně změněna jeho trasa, což je zajímavé zjištění v kontrastu, vůči jaké lokalitě se tok nachází.

Díky složitým pozemkovým poměrům v okolí toku, je snaha se s úpravou koryta pohybovat pouze na pozemcích, které náleží k toku Bobrava. Zvolený přístup může být poněkud limitující v rámci úprav pro protipovodňovou ochranu na návrhový průtok $Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$ a zároveň může být i omezující v realizaci návrhu přírodě blízkých protipovodňových opatření a zlepšení současného stavu toku.

Cílem diplomové práce je podrobné popsání a posouzení současného stavu toku Bobrava v zájmové lokalitě od ř. km 1,832 do ř. km 5,743. Součástí práce je posouzení kapacity koryta toku a objektů na něm umístěných a také určení současného stupně protipovodňové ochrany obce Želešice. Dále na základě výsledků šetření, vytvoření ideového návrhu přírodě blízkých, nejenom protipovodňových, opatření na vodním toku, vedoucích ke zvýšení ochrany přilehlého území vůči povodňovým situacím, ale i k celkovému zlepšení současného stavu toku z hlediska metodiky HEM.

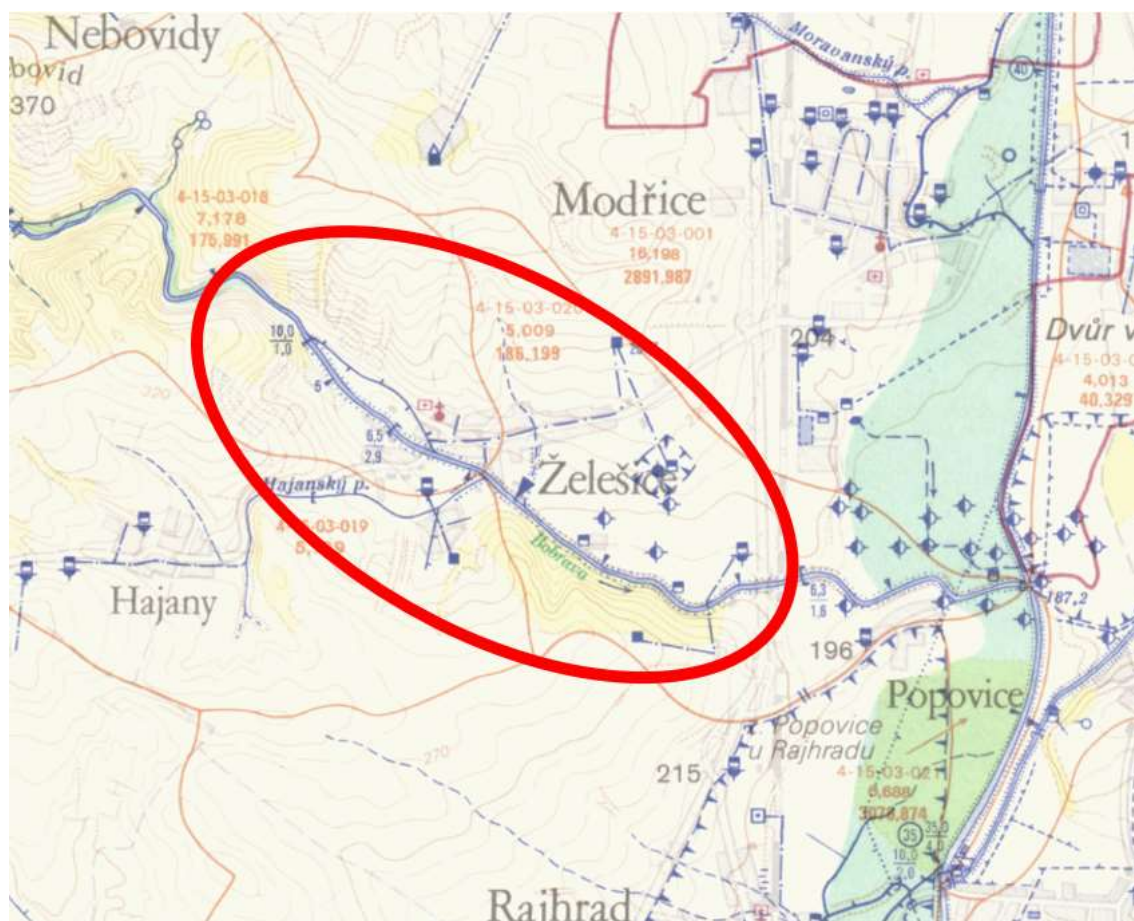
2 ZÁKLADNÍ INFORMACE

2.1 SPRÁVNÍ ÚDAJE

Tok, kterým se budu zabývat ve své diplomové práci se nazývá Bobrava. Bobrava je pravostranným přítokem řeky Svratky. Zájmové území, řešené v diplomové práci, je umístěno v katastrálním území dvou obcí: Želešice, Popovice a v katastrálním území města Modřice. Všechny tyto územní celky se nachází v Jihomoravském kraji, jižně od města Brno v okrese Brno-venkov. Tok Bobrava spadá pod správu Povodí Moravy, státní podnik, sídlem Dřevařská 11, 602 00 Brno. Číslo vodohospodářské mapy je 24-34 a hydrologické pořadí je 4-15-03-002.

2.2 ÚDAJE O POVODÍ

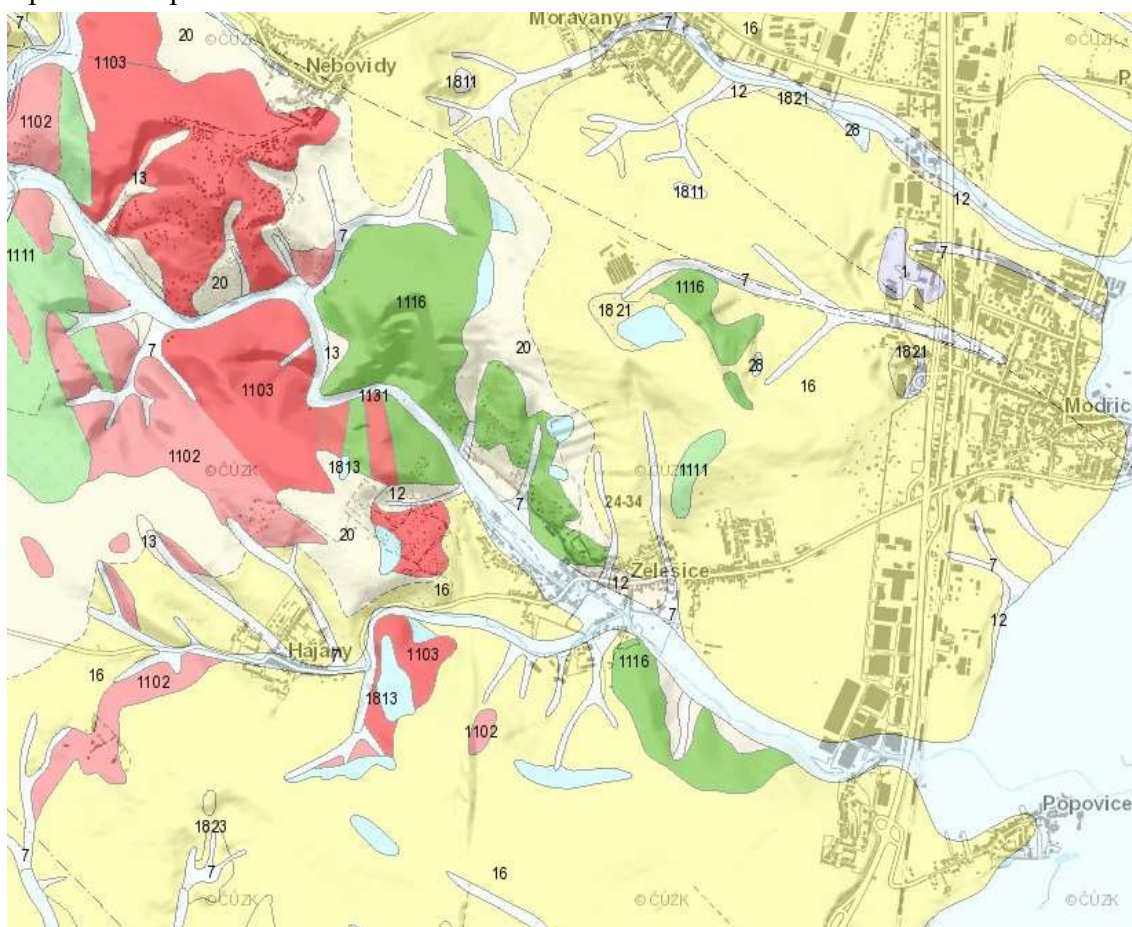
Délka toku Bobrava činí 35,2 km, plocha povodí 187,2 km² a průměrný průtok u ústí do řeky Svratky je $Q_a = 0,43 \text{ m}^3/\text{s}$. Tok pramení v lesích západně od Domašova v nadmořské výšce okolo 500 m. Po celé své délce teče převážně jihovýchodním směrem. Protéká obcemi Rudka, Rosice, Tetčice, Radostice a Želešice. U Popovic se vlévá do Svratky v nadmořské výšce 187 m. Na dolním toku je hluboké údolí Bobravy chráněno jako Přírodní park Bobrava. Přítoky: Říčanský potok (LB), Troubský potok (LB), Bílá voda (PB), Habřina (PB), Hajanský potok (PB) v Želešicích.



Obrázek 2.1 – Vodohospodářská mapa [1]

2.3 GEOLOGICKÉ POMĚRY

Daná lokalita toku Bobrava se geologicky nachází v Českém masivu – krystalinikum a prevariské paleozoikum – moravskoslezská oblast – brunovistulikum.



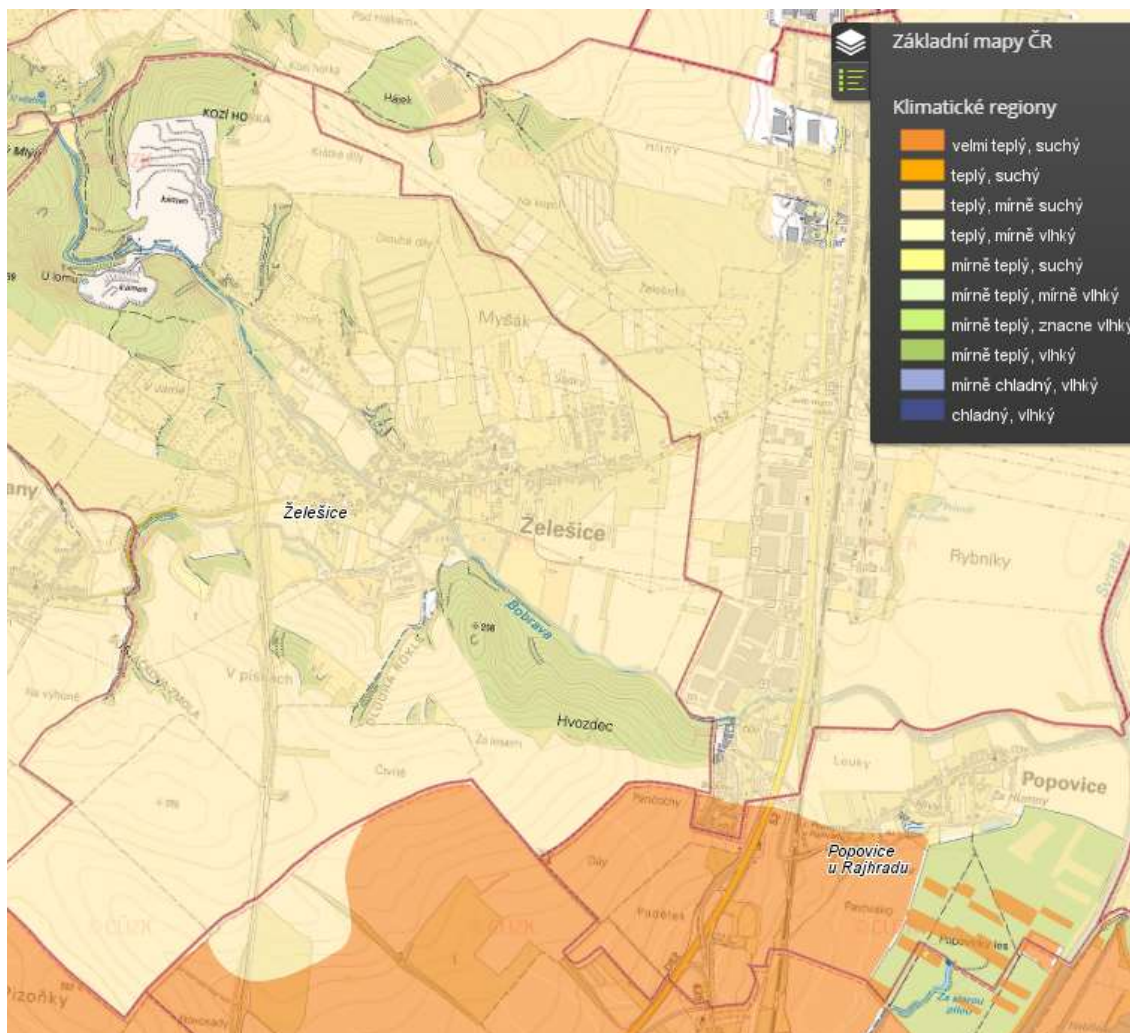
Obrázek 2.2 – Geologická mapa 1:50 000 [2]

1	navážka, halda, výsypka, odval	1102	biotitický granodiorit
6	nivní sediment	1103	biotitický až leukokratický granit
7	smíšený sediment	1111	biotit-amfibolický diorit, křemenný diorit
9	slatina, rašelina, hnilokal	1116	ultramafit, serpentinit
12	písčito-hlinitý až hlinito-písčitý sediment	1131	granitový porfyr
13	kamenitý až hlinito-kamenitý sediment	1132	granodioritový, dioritový porfyr
16	spraš a sprašová hlína	1813	štěrky, písčité štěrky
20	sediment deluvioeolický	1811	štěrk, písčitý štěrky
24	písek, štěrky		

Obrázek 2.3 – Legenda k obrázku 2.2 [2]

2.4 KLIMATICKÉ PODMÍNKY

Zájmová oblast patří se nachází na pomezí dvou klimatických regionů. Dle následujícího Obrázku 2.4 se řadí ještě do klimatického regionu teplého, mírně suchého, což znamená že průměrný roční úhrn srážek je mezi (500-600) mm. Průměrná roční teplota je (8-10) °C, s (20-30) % pravděpodobností suchých vegetačních období.



Obrázek 2.4 – Mapa klimatických regionů [3]

Kód regionu	Symbol regionu	Charakteristika regionu	Suma teplot nad 10°C	Průměrná roční teplota °C	Průměrný roční úhrn srážek v mm	Pravděpodobnost suchých vegetačních období v %	Vláhová jistota ve vegetačním období
0	VT	velmi teplý, suchý	2800-3100	9-10	500-600	30-50	0-3
1	T 1	teplý, suchý	2600-2800	8-9	< 500	40-60	0-2
2	T 2	teplý, mírně suchý	2600-2800	8-10	500-600	20-30	2-4
3	T 3	teplý, mírně vlhký	2500-2800	(7)8-9	550-650	10-20	4-7
4	MT 1	mírně teplý, suchý	2400-2600	7-8,5	450-550	30-40	0-4
5	MT 2	mírně teplý, mírně vlhký	2200-2500	7-8	550-650	15-30	4-10
6	MT 3	mírně teplý (až teplý) vlhký	2500-2700	7,5-8,5	700-900	0-10	> 10
7	MT 4	mírně teplý, vlhký	2200-2400	6-7	650-750	5-15	> 10
8	MCH	mírně chladný, vlhký	2000-2200	5-6	700-800	0-5	> 10
9	CH	chladný, vlhký	< 2000	<5	> 800	0	> 10

Obrázek 2.5 – Popis jednotlivých regionů. [3]

2.5 HYDROLOGICKÉ POMĚRY

V zájmovém úseku toku Bobrava se nachází přímo v obci Želešice dva hlásné profily kategorie C: hladinoměr na mostě v ulici Družstevní a limnigrafická stanice bez automatického zasílání dat v blízkosti ulice Družstevní.

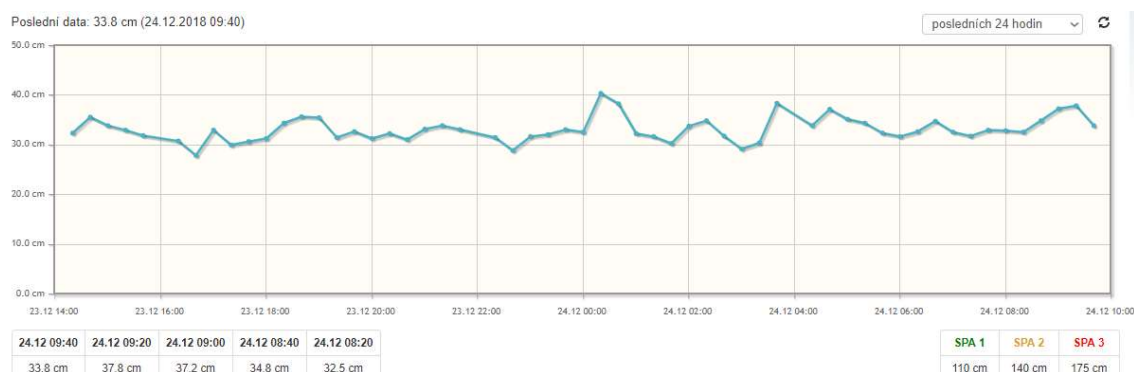
Hlásný profil s hladinoměrem není osazen vodočetnou latí a nejsou zde naměřeny N-leté ani m-denní průtoky. V hlásném profilu jsou určeny stupně povodňové aktivity a četnost jejich hlášení viz Obrázek 2.6. Data z tohoto profilu jsou přenášena online na povodňový portál společnosti VOP Dolní Bousov, spol. s.r.o., Tovární 785 294 04, Dolní Bousov. Jmenovaná společnost také oba výše zmíněné hlásné profily spravuje.

Stupně povodňové aktivity		cm	m ³ /s
I.	bdělost	110	
II.	pohotovost	140	
III.	ohrožení	175	

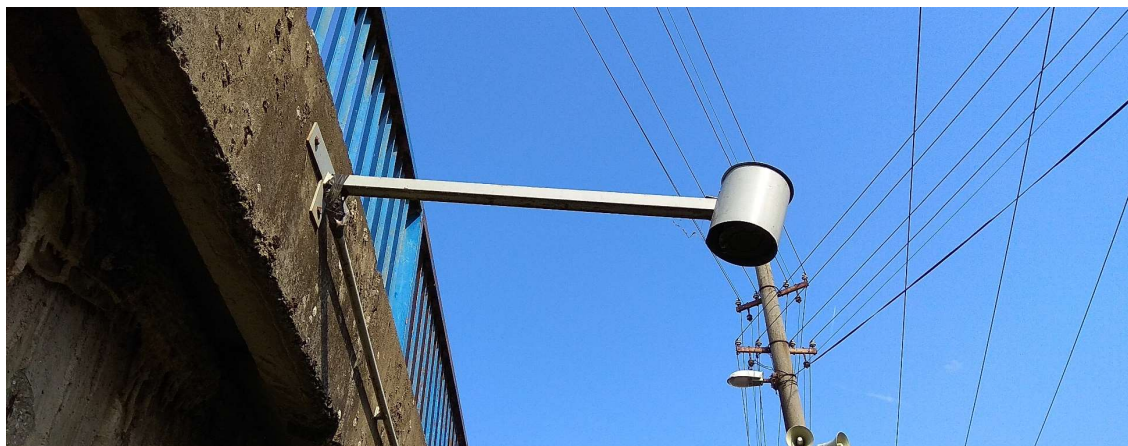
Četnost hlášení SPA	
I.	minimálně 2x denně
II.	3x denně
III.	po 3 hodinách

Jedná se o minimální četnost hlášení, dle aktuální situace lze hlášení provádět častěji. Informace o vývoji stavu hladiny v hlásném profilu předává povodňová komise obce Želešice povodňovým orgánům ORP Šlapanice a obce Modřice, Popovice.

Obrázek 2.6 – Stupně povodňové aktivity [4]



Obrázek 2.7 – Záznam výšky hladin [4]



Obrázek 2.8 – Hladinoměr



Obrázek 2.9 – Hlásný profil kat. C s hladinoměrem – Želešice, most Družstevní

Hlásný profil s limnigrafickou stanicí je osazen vodočetnou latí, i když tato informace není uvedena v evidenčním listu. N-leté ani m-denní průtoky zde nejsou naměřeny. Data z tohoto profilu se nikam online nepřenáší. V hlásném profilu jsou určeny stupně povodňové aktivity společně s průtokem v m^3/s viz Obrázek 2.10 – část evidenčního listu hlásného profilu.

Stupně povodňové aktivity		cm	m^3/s
I.	bdělost	150	6,7
II.	pohotovost	200	12,3
III.	ohrožení	240	18

Četnost hlášení SPA	
I.	minimálně 2x denně
II.	3x denně
III.	po 3 hodinách

Jedná se o minimální četnost hlášení, dle aktuální situace lze hlášení provádět častěji. Informace o vývoji stavu hladiny v hlásném profilu předává povodňová komise obce Želešice povodňovým orgánům ORP Šlapanice a obce Modřice, Popovice.



Fotografie hlásného profilu

Obrázek 2.10 – Část evidenčního listu hlásného profilu s limnigrafem [4]

Údaje o N-letých ani m-denních vodách nebyly z hlásných profilů kategorie C v obci Želešice zjištěny. N-leté průtoky jsou převzaty z dat z povodňového plánu nedaleké obce Tetčice. Obec Tetčice se nachází výše podél toku řeky Bobrava. Je třeba tedy uvažovat, že hodnoty N-letých průtoků jsou zatíženy chybou z důvodu geografické nepřesnosti. Průměrný roční průtok dosahuje $Q_a = 0,43 \text{ m}^3/\text{s}$, ostatní průtoky jsou uvedeny v následujícím Obrázku 2.11.

N-letý maximální průtok významného vodního toku Bobrava: ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Měřeno v místě ČOV po silnici II/394 a Tetčického potoka.

	Profil	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
Bobrava	řkm 0,9	4,6	7,8	13,5	19	25	35,5	45,5

Obrázek 2.11 – N-leté průtoky v obci Tetčice [5]

Údaje N-letých průtoků uvedené v Obrázku 2.11 jsou použity pro výpočty výšky hladiny, kapacity koryta toku a vychází se z nich v následném ideovém návrhu úprav koryta a okolí toku Bobrava.

2.6 ÚDAJE O ZEMĚDĚLSTVÍ

Okolí řeky Bobravy je výrazně zemědělsky využíváno až v dolní části toku. Oblast zemědělského využití se rozkládá od vtoku do obce Želešice až po soutok s řekou Svratka nedaleko obce Popovice. Pěstují se zde nejvíce obiloviny a velký podíl na zemědělských plochách také zastávají travní povrchy. Zemědělské plochy jsou dobře členěny a obsahují meze a remízky. Nezanedbatelnou část zemědělské plochy začínají zabírat rozrůstající se průmyslové objekty.

V zájmové lokalitě na levém břehu toku Bobrava přibližně od ř.km 3,200 do ř.km 3,300 se nachází areál staveb. Areál je v soukromém vlastnictví a dle katastru nemovitostí je určen k zemědělskému využití, což dle osobní pochůzky a pozdějšího ověření podnikatelské činnosti majitele areálu, není zcela přesná informace.



Obrázek 2.12 – Pohled do soukromého areálu ze severní strany

Díky reliéfu terénu, klimatickému regionu a výše zmíněnému členění zemědělských ploch se zde nevyskytuje ohrožení nadměrným smyvem půdy a následné zanášení koryta toku smytým materiálem.

2.7 ÚDAJE O LESNICTVÍ

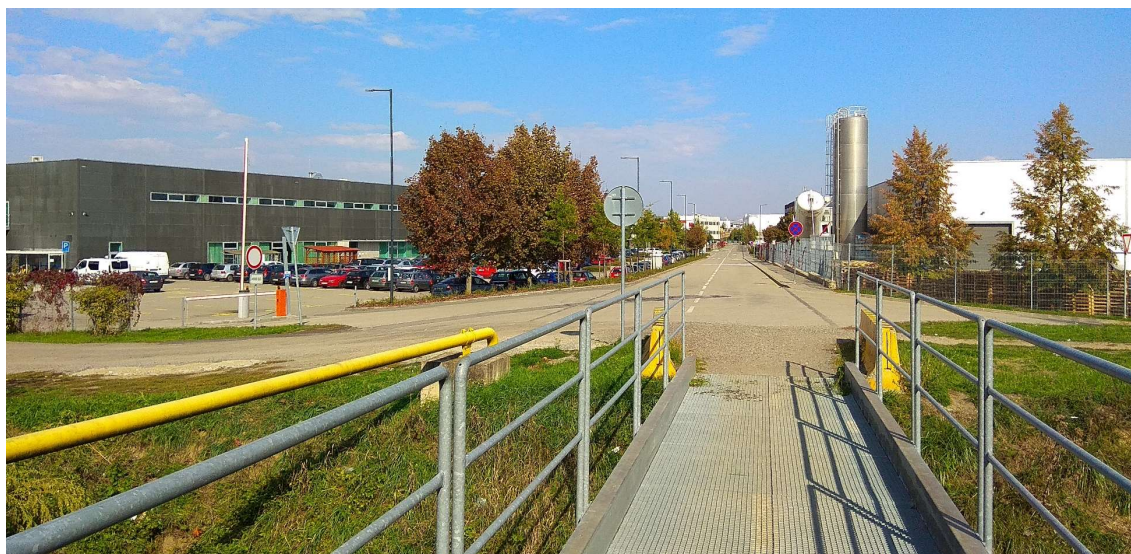
Velká část toku Bobrava protéká zalesněnými, obtížně přístupnými údolími. Tento fakt vysvětluje málo zemědělsky využitých ploch v okolí celého toku. Střední část toku se nachází v chráněném území Přírodní park Bobrava. Zde je lesnictví omezeno pouze na nejnutnější zásahy do přirozeného vývoje lesního ekosystému. Horní část řeky Bobravy taktéž protíná velmi hustě zalesněnou oblast, která již není chráněna. Lesnictví v tomto úseku probíhá v obvyklé míře a nachází se zde majoritně smrková monokultura s okrajovou příměsí listnatých zástupců.

2.8 ÚDAJE O PRŮMYSLU

V zájmové lokalitě v katastrálním území obce Želešice se žádný průmyslový objekt, který by byl přímo ohrožen povodňovým stavem, nenachází. Bylo by namístě připomenout výše zmíněný zemědělský, z části i průmyslový areál, který ovšem leží v území přímo ohroženém povodní.

Mnohem větší problémy při povodňové situaci nastanou v zájmovém úseku, v katastrálním území města Modřice, kde se nachází tzv. *CTPark Modřice*. Dle osobního průzkumu lokality není tento průmyslový areál z velké části nijak viditelně chráněn proti větším povodňovým průtokům.

Jedná se o areál v těsné blízkosti toku Bobrava s velkým počtem skladů a výrobních hal o celkové ploše 178 000 m². Všechny objekty v areálu jsou pronajímány jednotlivým společnostem, např. *Kollmorgen, s.r.o.* či *Epoq Logistics DC, k.s.* Výhradním vlastníkem a pronajímatelem všech pozemků a objektů je společnost *CTFinance, s.r.o.*



Obrázek 2.13 – Pohled do areálu CTPark z lávky L1 pro pěší

2.9 POŽADAVKY NA ODBĚR

V zájmovém úseku se nenachází žádná odběrná místa. Jsou zde pouze dva zřejmě nepovolené odběry vody, voda je vedena k nemovitostem v soukromém vlastnictví. Jeden z odběrů je zobrazen na Obrázek 2.14 2.14.



Obrázek 2.14 – Nepovolený odběr

2.10 VYPOUŠTĚNÍ VOD

V obci Želešice se nachází tlaková kanalizace, která spadá pod Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. Odpadní voda je tlakově odváděna mimo katastrální území obce Želešice. Jediný zdroj většího znečištění můžeme nalézt pod mostem v ulici 24. dubna. Zde jsou umístěny na pravém břehu dva vyústní objekty dešťové kanalizace o průměru DN 600 a DN 1200.

2.11 SPLAVNOST TOKU

Tok není splavný ani evidovaný jako vodní cesta. V budoucnosti se zcela jistě se splavněním neuvažuje, kvůli nedostatečným průtokům v korytě.

2.12 ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

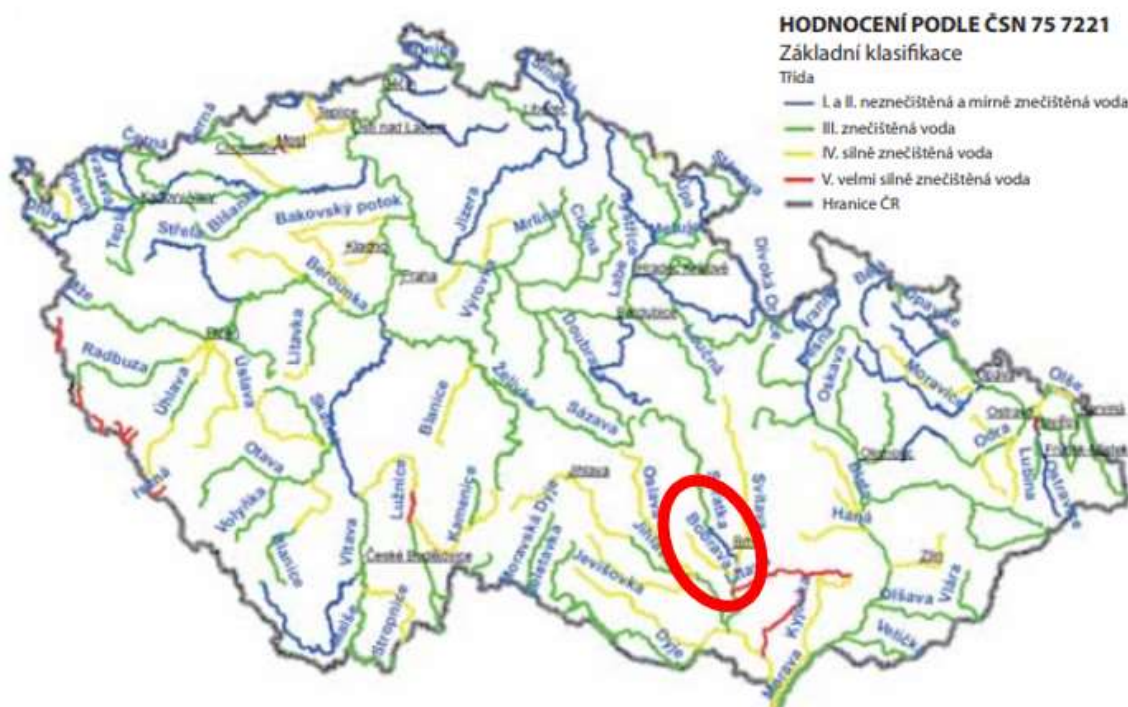
Střední úsek toku Bobrava protéká chráněným územím Přírodní park Bobrava. Jedná se o území, které je pokryto především mokřady, břehovými porosty, loukami a smíšenými lesy klenoucimi se uvnitř a nad údolím řeky Bobravy. Chráněné území má rozlohu cca 3100 ha a bylo vyhlášeno 1.1.1982. Na území parku se nachází dvě přírodní památky – Střelický les a Střelická bažinka. Dochovaly se zde také fragmenty pěti vodních mlýnů – Radostický, Anenský, Nový, Spálený, Kartouzský, které dříve na řece Bobravě fungovaly, dnes již nejsou nijak energeticky využívány.

2.13 KVALITA VOD

Kvalita vod, přesněji řečeno jakost vod je důležitou vlastností všech povrchových vod. V České republice se jakost vod posuzuje dle ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod.

Stanovují se limity pro 5 tříd jakosti dle ČSN 75 7221 [6]:

- **I. třída** – neznečištěná voda – stav povrchové vody, který nebyl významně ovlivněn lidskou činností, při kterém ukazatele jakosti vody nepřesahují hodnoty odpovídající běžnému přirozenému pozadí v tocích
- **II. třída** – mírně znečištěná voda – stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které umožňují existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému
- **III. třída** – znečištěná voda – stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které nemusí vytvořit podmínky pro existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému
- **IV. třída** – silně znečištěná voda – stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky, umožňující existenci pouze nevyváženého ekosystému
- **V. třída** – velmi silně znečištěná voda – stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky, umožňující existenci pouze silně nevyváženého ekosystému



Obrázek 2.15 – Jakost vody v tocích ČR rok 2016-2017 [7]

Jak je z Obrázku 2.15 vyňatého ze Zprávy o stavu vodního hospodářství [7] jasné, tok Bobrava patřil v roce 2016-2017 do IV. Třídy – silně znečištěná voda – kde ukazatele znečištění vody dosahují takových hodnot, které umožňují existenci pouze nevyváženého ekosystému. Tento fakt je zajímavý v rámci zkušenosti, kdy jsem při osobní pochůzce v úseku dlouhém cca 3 kilometry, dne 1.10.2018 zaznamenal výskyt několika jedinců Raka signálního (*Pacifastacus leniusculus*).



Obrázek 2.16 – Rak signální, fotografie z osobní obchůzky

2.14 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ

Tok Bobrava není kvůli nedostatečnému spádu ani průtoku ve zkoumaném úseku energeticky využíván.

2.15 POVODNĚ

Povodně nejsou v obci Želešice nijak výjimečným jevem. Při dlouhotrvajících deštích se v zastavěných částech i mimo ně v extravilánu obvykle tok Bobrava vylévá ze svých břehů. V minulosti také často docházelo k ohrožení životů, zdraví obyvatel a poškození jak obecního, tak soukromého majetku.

Historické záznamy zmiňují velmi ničivé povodně v letech 1946, 1970 a 1975. V těchto letech došlo k výraznému vybřežení Bobravy (i Hajanského potoka) a ohrožení současné ulice Petra Bezruče a oblasti mezi mlýnským náhonem a tokem Bobravy. [4]

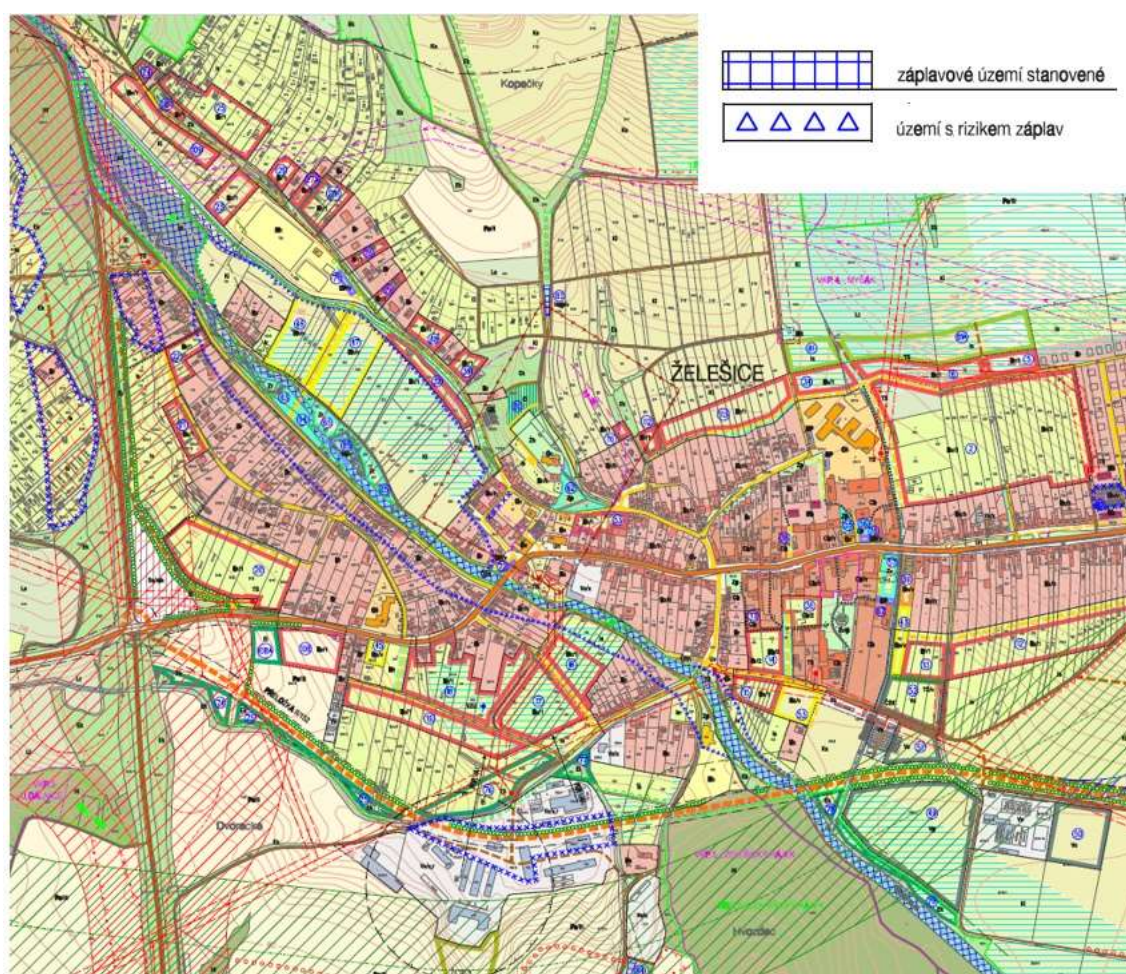
V roce 2006 a 2010 došlo v Želešicích k povodním, kdy hladina vody zůstala sice v korytě, ale v roce 2006 byla masivně poškozena lávka pro pěší, jak ukazuje následující Obrázek 2.17. Na základě těchto událostí byly navýšeny lávky pro pěší. Dále bylo koryto toku upraveno prohloubením a dochází k jeho pravidelnému čištění.



Obrázek 2.17 – Povodeň v roce 2006 [4]

2.15.1 Záplavové území

Pro tok Bobravy je stanoveno záplavové území – rozhodnutím OkÚ Brno-venkov, RŽP č.j. ŽP 1884/93-Tr, ze dne 1.4.1993. Území je stanoveno podle návrhu Povodí Moravy, provedeného na základě odborného odhadu, není proveden výpočet odtokových poměrů. Stanovené záplavové území prakticky sleduje břehy toku, výjimkou je pouze plocha v SZ části území, kde je zasažen prostor mezi hlavním korytem a náhonem. [8]



Obrázek 2.18 – Grafická část územního plánu obce Želešice [8]

Výše zmíněná citace z územního plánu obce Želešice zcela jasně říká, že v obci nebyly dle výpočtů stanoveny plochy rozlivů pro jednotlivé N-leté průtoky a byly pouze odborně odhadnuty Povodím Moravy, s.p. Nikde v dokumentu není jasně specifikováno, pro jakou hladinu N-letých průtoků je záplavové území stanoveno, pouze v grafické části je zakresleno navíc i území s možností rizika záplav dle skutečných rozlivů v 70. letech a dle popisu obyvatel a obecního úřadu.

Dle mnou provedených výpočtů kapacity koryta toku Bobrava lze říci, že záplavové území odhadnuté a vyznačené v územním plánu obce Želešice, cirká odpovídá dvacetiletému průtoku $Q_{20} = 25 \text{ m}^3/\text{s}$. Přibližná shoda platí pouze v intravilánu obce.

Dle mapového portálu povodňového plánu Ministerstva životního prostředí [9] je stanoveno pouze záplavové území pro Q_{100} . Na základě výpočtů kapacity koryta toku a mapových podkladů lze o vykreslených plochách záplavového území polemizovat. Dle mých zjištění by ve zvýrazněné oblasti neměly vzniknout ostře ohraničené plochy bez zátopy vodou, je ovšem možné, že Ministerstvo životního prostředí užilo pro vykreslení záplavových území přesnější mapové podklady – např. digitální model terénu.



Obrázek 2.19 – Mapa ploch zatopených povodní Q_{100} [9]

2.16 RYBÁŘSKÝ REVÍR

Zájmovou lokalitou prochází mimopstruhový rybářský revír Bobrava 01. Revír se rozkládá od ústí Bobravy do Svratky v Popovicích až po vtok bývalého náhonu mlýna v Radosticích. Hlavní rybou je kapr obecný, dále se vyskytují cejn, lín a dravé ryby.

3 STÁVAJÍCÍ STAV TOKU

3.1 POPIS ZÁJMOVÉ LOKALITY

Zájmové lokalita, kterou se zabývám ve své diplomové práci se nachází na toku Bobravě. Jedná se o území, jež je ohraničeno z jedné strany křížením se silnicí I. třídy číslo E461, v blízkosti průmyslového areálu na levém břehu toku, nedaleko od soutoku řeky Bobravy s řekou Svratkou a z druhé strany je ohraničeno vtokem do intravilánu obce Želešice v blízkosti kamenolomu, kde Bobrava opouští sevřené údolí vyhloubené svojí erozní činností.

Přibližně od ř. km 2,300 až do ř. km 3,800 se řeka Bobrava stává hranicí většího zalesněného území na pravém břehu toku a velkého počtu zemědělsky využívaných ploch na břehu levém. Dále v ř. km 3,800 tok Bobrava opouští intravilán obce Želešice, kterým místy velmi stísněně protéká od ř. km 5,540. Úsek toku v intravilánu by se dal dle tvaru a zastavěného okolí koryta rozdělit do dvou částí. První část od ř. km 3,800 do ř. km 4,400, kde je koryto toku celostně více upraveno a omezeno zdejší zástavbou, nežli v úseku od ř. km 4,400 až do 5,540, kde je souvislá zástavba pouze na pravém břehu a koryto toku zde má větší prostor k vlastnímu přirozenému vývoji.

V celé zájmové lokalitě jsou patrné známky snahy o stabilizaci a ochranu jak paty svahů, tak celého svahu koryta toku. Dle současného stavu zmíněných opatření lze usuzovat, že tyto úpravy jsou zřejmě na konci své životnosti a nebyly provedeny v blízké minulosti.

Z historických map a podkladů (Obrázek 3.1) je názorně vidět, že od konce 19. století, až do dnes nebyla trasa koryta v zájmové lokalitě nijak změněna, kromě přirozeného meandrování toku, které ale není nijak významné v porovnání k celkové trase koryta toku v zájmové lokalitě.



Obrázek 3.1 – Obec Želešice, mapový podklad z konce 19. století [10]

3.2 POPIS DNA A PODÉLNÉHO SKLONU

Přirozený podélný sklon dna Bobravy (bez ovlivnění spádovými objekty) je průměrně v zájmové lokalitě mezi ř. km 1,832 – 5,743 roven $i = 4,3 \text{ ‰}$. Díky relativně velkému sklonu, na poměry dolního úseku toku, zde nedochází k velkému usazování splavenin. Materiál dna je štěrkopískový s převahou štěrku v horní části zájmového území a v dolní části naopak s převahou písku. Na Obrázku 3.2 je zobrazen vzorek materiálu dna přibližně z ř. km 3,050.



Obrázek 3.2 – Vzorek materiálu dna

3.2.1 Určení drsnosti dna

K určení drsnosti dna byla využita jako podklad disertační práce: Návrh metodiky stanovení součinitele drsnosti otevřených koryt (Smelík, 2015), kde se autor práce podrobně zabýval určením drsnosti dna v mnou řešené zájmové lokalitě. Autor provedl sadu měření a výsledkem bylo určeno rozmezí Manningova součinitele drsnosti n v hodnotách od 0,046 do 0,058. Pro účely mé diplomové práce – výpočet kapacity koryta toku a zjištění výšky hladin návrhových průtoků, jsem uvažoval střední hodnotu zjištěného intervalu a to $n = 0,052$. Dodám, že Manningův součinitel drsnosti n , je pro přesnost výpočtů zde užitého 1D proudění jedním ze stěžejních faktorů.

3.3 ROZDĚLENÍ NA DÍLČÍ ÚSEKY

Pro popis toku a pro účely zhodnocení stávajícího stavu toku jsem v zájmové lokalitě rozdělil koryto toku Bobrava na tři dílčí úseky, které jsou od sebe odlišné morfologií koryta a jsou také rozdílné i bezprostředním okolím koryta toku. V následujících odstavcích budou tyto tři úseky podrobněji popsány. Na Obrázek 3.3 je schematicky znázorněno rozdělení toku v zájmové oblasti.



Obrázek 3.3 – Rozdělení na dílčí úseky, podklad server mapy.cz [10]

3.4 ÚSEK Č. 1 – Ř. KM 1,832 – 2,481

Úsek č. 1 začíná od křížení toku Bobrava se silnicí I. třídy číslo E461, pokračuje v blízkosti průmyslového areálu na levém břehu toku, na pravém břehu lze nalézt obytnou zástavbu. Úsek č. 1 končí spolu s hranicí pozemků průmyslového areálu *CTPark*, kde hraničí se zemědělsky využívanými plochami.

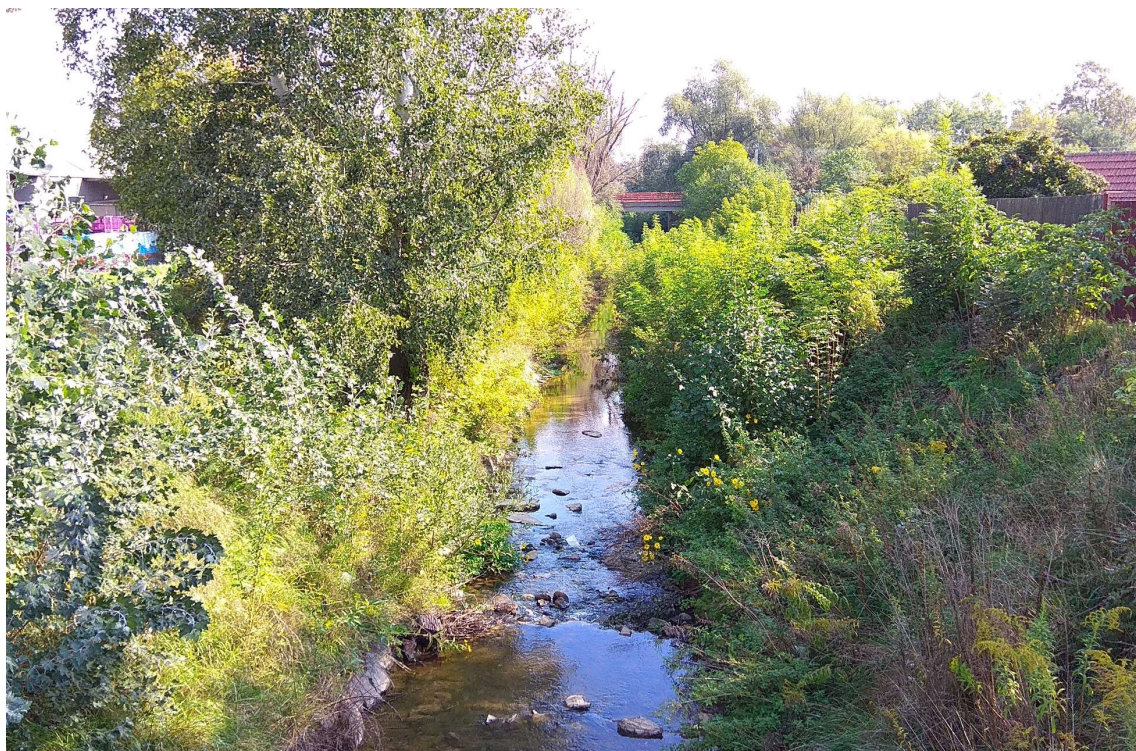
Úsek byl zvolen záměrně kvůli odlišné morfologie koryta toku a jeho okolí v porovnání s úsekem č. 2. Další důvod rozdělení byl kvůli navazujícímu řešení protipovodňové ochrany celého průmyslového areálu na levém břehu toku a obytné zástavby na břehu pravém.

3.4.1 Popis příčného řezu

V úseku č. 1 má koryto v příčném řezu tvar jednoduchého lichoběžníku, nejsou zde nikde připojeny bermy ke kynetě. Šířka vodní hladiny se na celém úseku pohybuje v rozmezí (4-6) m. Šířka koryta v břehové čáře je v rozmezí (10-20) m. Svahy kynety mají sklon 1:1,5 až 1:2.

Opevnění svahů

V první části úseku č. 1 od ř. km 1,832 do ř. km 1,964 můžeme nalézt pouze opevnění paty svahu kamenným záhozem, který je v současné době poškozen. Vytržené kameny z paty svahu se nacházejí přímo na dně kynety, kde při malých průtocích vystupují nad hladinu a je dobře znatelné, že pocházejí právě z opevnění paty svahu.



Obrázek 3.4 – Ukázka tvaru kynety s vytrženými kameny z opevnění paty svahu, pohled po proudu z lávky L1



Obrázek 3.5 – Poškozené opevnění svahu kynety v části úseku č. 1 od ř. km 1,832 do ř. km 1,964

V druhé části úseku č. 1 od ř. km 1,964 do ř. km 2,481, kde úsek č. 1 končí, lze nalézt opevnění jak paty svahu kamenným záhozem, tak opevnění zbytku svahu kynety železobetonovými polovegetačními tvárnicemi. Na mnoha místech v této části úseku č. 1 se kamenný zához paty svahu úplně rozpadl a byl odplaven. Následkem této degradace se ŽB tvárnice vlastní tíhou sesunuly až na dno kynety.



Obrázek 3.6 – Degradace paty svahu s porostlými ŽB tvárnicemi vegetací



Obrázek 3.7 – Sesunuté ŽB tvárnice na dno kynety

Manningův součinitel drsnosti – svahy koryta toku

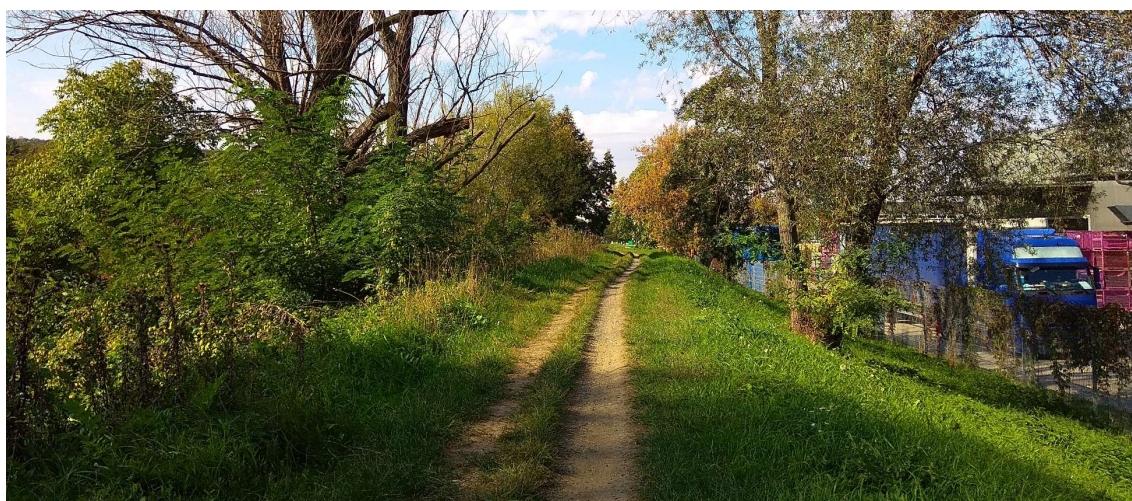
Jak je z Obrázku 3.4 a Obrázku 3.8 dobře viditelné, jsou svahy kynety porostlé nejenom travní vegetací ale vyskytují se zde i zástupci bylinného, keřového ba dokonce i stromového patra. Tato vegetační překážka snižuje celkovou průtočnost korytem a celou jeho kapacitu při povodňových stavech. Manningův součinitel drsnosti n , byl pro svahy kynety v úseku č. 1, s přihlédnutím k výše zmíněným faktorům, určen odborným odhadem na hodnotu $n = 0,100$. Odhad vychází z tabulek stupňů drsností běžně uváděných v učebnicích hydrauliky.



Obrázek 3.8 – Vzrostlá vegetace v kynetě toku

3.4.2 Protipovodňová ochrana

Na úseku č.1 se od ř. km 1,832 do ř. km 1,964 nachází protipovodňové ochranné hráze na obou březích toku. Na levém břehu chrání malou část průmyslového areálu a na pravém je chráněna část obytné zástavby. Dle mých výpočtů kapacity koryta je protipovodňová ochrana provedena na stoletý návrhový průtok – Q_{100} .



Obrázek 3.9 – Pohled na ochrannou LB hráz proti proudu

3.4.3 Mosty a lávky

Lávka L1 pro pěší

Na úseku č.1 můžeme najít pouze jednu lávku pro pěší. Lávka L1 se nachází v říčním kilometru 1,964. Jedná se o kovovou konstrukci s výškou mostovky 0,4 m a šířkou mostovky 2,0 m. V geometrických podkladech chybělo výškové zaměření lávky, ale byl na jejím místě zaměřen příčný profil č. 20. Výškové osazení lávky L1 jsem tedy zjistil ze zmíněného profilu.



Obrázek 3.10 – Lávka L1, ř. km 1,964, pohled z LB ochranné hráze

3.4.4 Křížení inženýrských sítí s tokem

Jediné křížení inženýrských sítí s tokem v úseku č. 1 se nachází v těsné blízkosti lávky L1 pro pěší, ve vzdálenosti 3,0 m od lávky. Dle barevného označení potrubí lze usuzovat, že se jedná o plynové potrubí.



Obrázek 3.11 – Plynové potrubí v blízkosti lávky L1

3.4.5 Spádové stupně

V úseku č.1 se cca od ř. km 2,033 do ř. km 2,245 nachází 3 spádové stupně. Jedná se zřejmě o staré železniční pražce zapažené do svahu kynety. V podkladech nejsou tyto stavby zaměřeny a v hydrotechnických výpočtech nejsou uvažovány.



Obrázek 3.12 – Spádový stupeň – železniční pražec

3.4.6 Vyústní objekty

Vyústní objekty v podkladech nejsou nijak zaměřeny. Při osobní pochůzce jsem objevil propustek DN 500 který je součástí LB ochranné hráze a je opatřen zpětnou klapkou. Funkce propustku je navracení objemů vody, které by se dostaly nejenom při povodni za ochrannou hráz. V současném stavu je nefunkční.



Obrázek 3.13 – Propustek DN 500 v LB ochranné hrázi

3.5 ÚSEK Č. 2 – Ř. KM 2,481 – 3,800

Úsek č. 2 začíná v místě, kde na pravém břehu toku končí obytná zástavba a začíná dlouhý lesní pás, jehož okraj právě tvoří koryto řeky Bobravy a končí v místě, kde tok opouští intravilán obce Želešice. Podél celého levého břehu v úseku č. 2 se nacházejí zemědělsky využívané plochy, kromě části od ř.km 3,200 do ř.km 3,300, kde se nachází již zmíněný areál staveb, podrobněji popsáno v kapitole 2.6 – Údaje o zemědělství.

3.5.1 Popis příčného řezu

Úsek č. 2 je v rámci zájmové lokality unikátní. Ze všech tří rozdělených úseků se nachází v nejbližším stavu ke stavu zcela nedotčenému lidskou činností. K lichoběžníkovému tvaru koryta toku z úseku č. 1 se na pravé straně toku připojuje berma. Šířka bermy je proměnlivá od 0 m do 15 m. Šířka vodní hladiny se na celém úseku pohybuje v rozmezí (2-5) m. Šířka koryta v břehové čáře je v rozmezí (15-25) m. Svahy kynety mají sklon proměnný, nejčastěji 1:2 a více.



Obrázek 3.14 – Tvar koryta v dolní části úseku č. 2, pohled proti proudu

Opevnění svahů

Po celé délce úseku jsou známky velkého porušení opevnění svahů kynety, které je v horní části úseku č.2 v podstatně lepším stavu na rozdíl od dolní části. Stejně, jako v úseku č.1 jsou vytržené kameny z kamenného záhozu, použitého pro stabilizaci paty svahu, vláčeny po dně kynety, viz Obrázek 3.14. Svahy kynety ani berma nejsou nijak po celé délce úseku č. 2 opevněny a vznikají zde na svazích velmi rozsáhlé nátrže, které občas zasahují i do lesní cesty, která lemuje koryto toku na pravé straně.



Obrázek 3.15 – Pohled na stabilizaci paty svahu, horní část úseku č. 2

Manningův součinitel drsnosti – svahy koryta toku

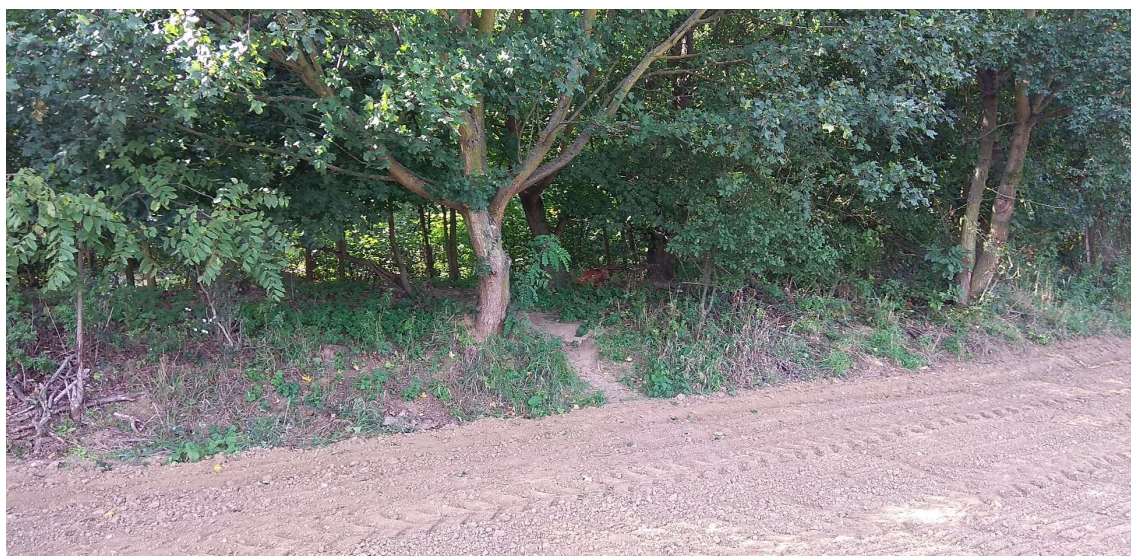
Když se zaměřím na vegetační doprovod koryta, který přímo do koryta zasahuje, tak je jednoznačné, že i v úseku č. 2 bude Manningův součinitel drsnosti n nabývat vysokých hodnot. Současnou situaci výstižně vyobrazují obrázky: 3.14, 3.15 a 3.16. V úseku č. 2 je rozdílně od úseku č. 1 mnohem více zastoupeno stromové patro. Na pravém břehu, kde se připojuje berma, se nachází hustý porost keřů prostoupený stromovým. Tento porost postupně v dolní části úseku č. 2 začíná převládat viz Obrázek 3.14. Díky místním proměnlivým podmínkám nebylo jednoduché stanovit Manningův součinitel drsnosti n , ale po odborné poradě byla přenechána stejná hodnota jako v úseku č. 1, tedy $n = 0,100$.



Obrázek 3.16 – Pohled na koryto proti proudu

3.5.2 Protipovodňová ochrana

Řešený úsek č. 2 nebyl v nejbližší minulosti nijak upraven v rámci protipovodňové ochrany. Musím ale zmínit, že po celé délce úseku se na levém břehu nachází vyvýšený útvar vlastnostmi mírně podobný přírodnímu valu. Převýšení vůči okolnímu terénu, přesněji vůči zemědělským plochám není nijak významné, jedná se o převýšení cca (0,5-0,7) m. O cíleném antropogenním vzniku tohoto útvaru by se dalo zřejmě dohadovat. Dle mých výpočtů kapacity koryta toku Bobrava je zřejmé, že po délce úseku č. 2 se výrazně mění kapacita koryta, tudíž kdyby byl zmíněný útvar úmyslně vytvořen pro účely protipovodňové ochrany, nesplňoval by svojí funkci.



Obrázek 3.17 – Pohled na vyvýšený útvar na levém břehu ze zemědělské plochy

3.5.3 Mosty a lávky

V úseku č. 2 se nenachází žádné oficiální mosty či lávky, našel jsem zde pouze jednu přírodní lávku, která by při větším povodňovém průtoku zanikla.



Obrázek 3.18 – Přírodní lávka

3.5.4 Odběr vody

Zajímavostí je, že v ř. km 2,300 se nachází již nepoužívaný odběrný objekt. Dle současného stavu je jisté že už není v provozu odhadem minimálně deset let. Podrobnější informace o odběrném objektu se mi nikde nepodařilo nalézt, ale vzhledem k jeho nefunkčnosti tyto informace nejsou důležité pro účely mé diplomové práce.



Obrázek 3.19 – Nefunkční odběr vody na pravém břehu

3.5.5 Přítoky

V ř. km 3,570 ústí do koryta toku Bobravy levobřežně vodoteč která vzniká ze splachů ze příkrých zemědělských ploch severně od obce Želešice. Vodoteč v průběhu roku vzniká velmi výjimečně a její koryto není téměř znatelné. Průtoky nejsou nijak měřeny ani zaznamenávány.

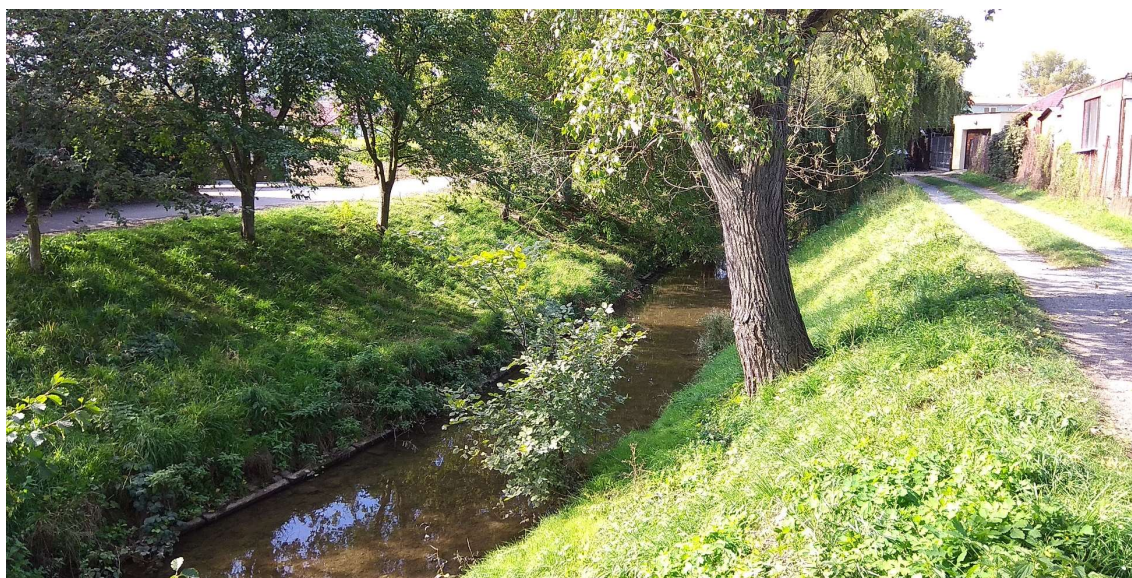
3.6 ÚSEK Č. 3 – Ř. KM 3,800 – 5,743

3.6.1 Popis řešeného úseku

Úsek č. 3 je nejzajímavějším a nejvíce problematickým úsekem. Úsek č. 3 začíná v ř. km 3,800, kde tok Bobravy opouští intravilán obce Želešice a končí v ř. km 5,743, kde se tok Bobrava vlévá do intravilánu obce. V úseku č. 3 vzniká nejvíce problémů a škod při vzniku povodňových stavů, kvůli stísněným podmínkám koryta toku v obecní zástavbě. Dalšími překážkami v toku jsou mosty a lávky, které kříží tok Bobravy. Problémy může způsobovat i bývalý mlýnský náhon, který se táhne podél levého břehu, a dostává se do něj voda přes zničenou jezovou konstrukci v ř. km 5,391.

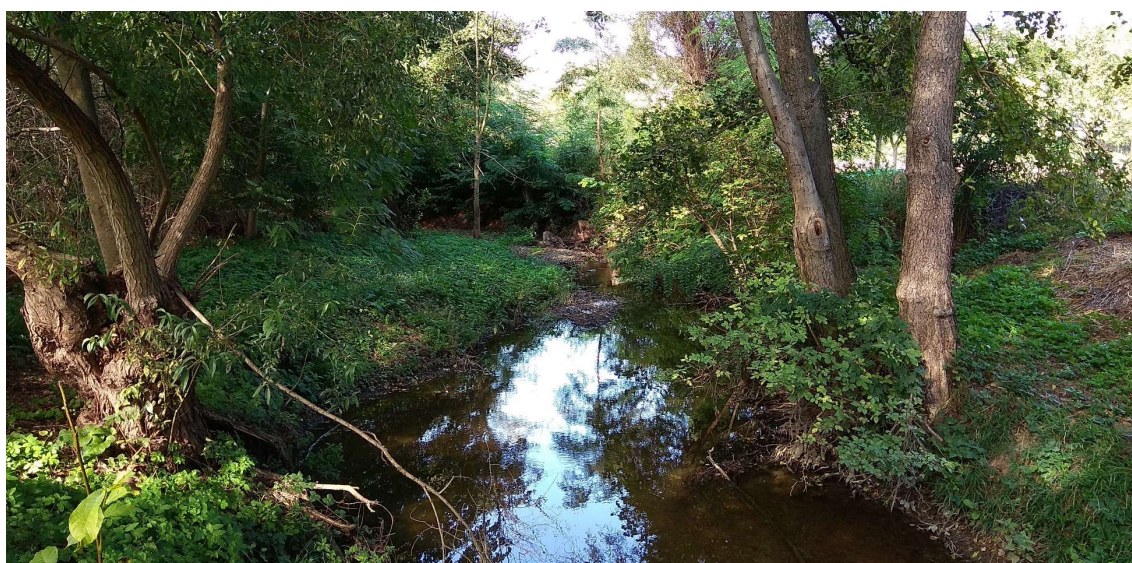
3.6.2 Popis příčného řezu

Jako první je nasnadě rozdělit úsek č. 3 do dvou částí, podle rozdílného typického příčného řezu korytem toku v obou částech. První část úseku leží od ř. km 3,800 do ř. km 4,586, kde se nachází spádový stupeň. Tvar koryta toku je v prvním úseku jednoduchý lichoběžník a je názorně vidět, že bylo koryto toku do tohoto tvaru upraveno. Šířka vodní hladiny se v první části pohybuje v rozmezí (3-5) m. Šířka koryta v břehové čáře je v rozmezí (10-15) m. Svahy kynety mají sklon 1:1,5 až 1:2.



Obrázek 3.20 – Typický příčný řez koryta v první části úseku č. 3, pohled proti proudu

V druhé části úseku č. 3, přesněji od spádového stupně v ř. km 4,586 až do ř. km 5,743 je tok v korytě více rozvolněn a má větší možnost se přirozeně vyvíjet a meandrovat. Koryto toku má v této části lichoběžníkový tvar s širokým dnem, po kterém se vine stěhovavá kyneta o šířce (3-4) m. Šířka koryta v břehové čáře je v rozmezí (10-30) m. Svahy mají sklon 1:1,5 až 1:3.



Obrázek 3.21 – Pohled proti proudu do koryta toku v druhé části úseku č. 3

Opevnění svahů

V celé první části úseku č. 3 lze nalézt opevnění paty svahu již zmiňovanými železobetonovými polovegetačními tvárnici – v úseku č. 1. Železobetonové tvárnice jsou často podemlety a zemina, která by v nich měla být usazena se v otvorech tvárnice téměř nenachází, zobrazeno na Obrázku 3.22. Svahy kynety nejsou nijak opevněny kromě několika lokálních výjimek, kde je svah opevněn kamennou rovnáninou, která je spojena maltou. Na opevnění je také patrná částečná degradace.

Z Obrázek 3.21 3.21 je patrné, že v druhé části úseku č. 3 není provedena žádná stabilizace svahu ani paty svahu koryta.



Obrázek 3.22 – Pohled na poškozené opevnění paty svahu kynety

Manningův součinitel drsnosti – svahy koryta toku

Úseku č. 3 není výjimkou, jak je v celé zájmové lokalitě typické, tak se opět nachází velké množství nežádoucí vegetace přímo v korytě toku a představuje překážku pro proudění vody. V menší, či větší míře jsou zde zastoupena všechna vegetační patra.

První část úseku č. 3 je zřejmě více udržována a v korytě toku se nenachází tolik nežádoucí vegetace na rozdíl od druhé části úseku č.3. Na svazích kynety převládá spíše stromové patro v zástupu jak mladých, tak již velmi vzrostlých jedinců. Na několika místech jsem při osobní pochůzce narazil na téměř vyvrácené pařezy, které jsou závažnou překážkou v korytě toku. Manningův součinitel drsnosti n byl v první části úseku č. 3 určen na hodnotu $n = 0,080$.

Druhá část úseku č. 3 má více přírodní charakter, jak ukazuje Obrázek 3.23. Do popředí se v této části toku dostalo keřové patro sekundované patrem stromovým. Společně tvoří velmi hustý porost, kterým se místy nedá ani projít, proto byl Manningův součinitel drsnosti n v druhé části úseku č. 3 zvýšen na hodnotu $n = 0,100$.



Obrázek 3.23 – Druhá část úseku č. 3, pohled po proudu

3.6.3 Mosty a lávky

Most M1

Most M1 se nachází v ř. km 3,916 v blízkosti soutoku Hajanského potoka a řeky Bobravy. Jedná se o silniční most pozemní komunikace II. třídy. Most není příliš zatěžován nadměrnou dopravou. Most tvoří železobetonová konstrukce s výškou mostovky 1,0 m a šířkou 13,0 m. Na mostě je instalován hladinoměr hlásného profilu kategorie C, viz kapitola 2.5 – Hydrologické poměry.



Obrázek 3.24 – Most M1, ř. km 3,916, pohled proti proudu

Most M2

Most M2 se nachází v ř. km 4,276. Most je součástí vytižené pozemní komunikace I. třídy č. 152 spojující Modřice – Ořechov – Ivančice. Velkému dopravnímu zatížení odpovídají také rozměry ŽB mostovky s výškou 1,2 m a šířkou 11,0 m. K mostu je přidruženo potrubí DN 500.



Obrázek 3.25 – Most M2 s přidruženým potrubím DN 500, pohled proti proudu

Lávka L2 pro pěší

Kvůli potřebné šířce jízdních pruhů a bezpečnosti chodců na mostě M2 se v jeho těsné blízkosti nachází lávka L2 pro pěší. Lávku L2 tvoří ŽB mostovka s výškou 0,3 m a šířkou 2,5 m.



Obrázek 3.26 – Lávka L2 nalevo, v blízkosti mostu M2

Lávka L3 pro pěší

Lávka kovové konstrukce v ř. km 4,551 v blízkosti spádového stupně. Mostovka má výšku 0,3 m a šířku 1,3 m a je zřetelně vyvýšena nad okolní terén.



Obrázek 3.27 – Lávka L3, ř. km 4,551, pohled z pravého břehu

Lávka L4 pro pěší

Lávka L4 se nachází v ř. km 4,868. Krátká kovová mostovka má výšku 0,3 m a šířku 1,6 m. Z obrázku 3.28 je patrné, že lávka L4 je nevhodně usazena do koryta toku a rapidně zužuje průtočný profil. Dále si lze všimnout, že opěrné zdi kovové lávky jsou ve spodní a boční části poškozeny.



Obrázek 3.28 – Lávka L4, ř. km 4,868, pohled z pravého břehu

3.6.4 Spádový stupeň

Úseku č. 3 je obohacen o spádový stupeň, který se nachází v ř. km 4,586. Jedná se o ŽB konstrukci s šikmou přelivnou plochou a vývarem. Boční zdi jsou tvořeny taktéž železobetonovou monolitickou konstrukcí.



Obrázek 3.29 – ŽB spádový stupeň, ř. km 4,586

3.6.5 Přítoky

Jediným přítokem řeky Bobravy v úseku č. 3 je Hajanský potok v ř. km 3,905. Hajanský potok spadá pod Povodí Moravy, s.p. Průtoky na Hajanském potoce nebyly nikdy měřeny a v době osobní pochůzky (1.10.2018) byl potok vyschlý.



Obrázek 3.30 – Pohled do koryta Hajanského potoka na soutoku s řekou Bobravou

3.6.6 Jezová konstrukce a náhon

Říční kilometr 5,391 je osazen zničenou jezovou konstrukcí s dvěma nefunkčními stavidly. Dle současné podoby celé konstrukce je jisté, že již mnoho let není funkční. Jezová konstrukce byla určena pro navýšení hladiny a převod části průtoku vody do mlýnského náhonu, který v současné době stále existuje ale neplní svůj účel. V územním plánu obce Želešice [8] je náhon zmiňován jako rizikový. Při povodňových průtocích se na zbytcích jezové konstrukce zvyšuje výška hladiny a část průtoku se nekontrolovatelně dostává do náhonu, odkud se vylévá na sousední zemědělské plochy a obytnou zástavbu.



Obrázek 3.31 – Zničená jezová konstrukce s dvěma stavidly v pozadí



Obrázek 3.32 – Detail poškozeného stavidla

4 HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

4.1 PROGRAM HEC-RAS

HEC-RAS je volně dostupný program, který byl vyvinut v Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers. Výhodou programu je, že dokáže řešit 1D i 2D model jak ustáleného, tak neustáleného proudění v systémech otevřených koryt. Výpočet využívá tzv. metody po úsecích, která má základ v Bernoulliho rovnici a zákoně zachování mechanické energie. Výstupem programu jsou výšky hladin, rozdělení rychlostí a průtoků v příčném profilu, pohyb splavenin atd.

Za další velice užitečnou funkci programu HEC-RAS považuji možnost řešit proudění přímo v mostních profilech a na jezových a spádových objektech. Program obsahuje také výpočetní sekci pro propustky s různým geometrickým průřezem. HEC-RAS řeší proudění ve více hydraulických režimech: ustálené a neustálené proudění o volné hladině, přelévání mostních objektů, tlakové proudění mostním profilem a u propustků různé druhy zatopeného nebo volného vtoku/výtoku.

4.1.1 Ustálené proudění (Steady flow)

Pro účely diplomové práce byl využit 1D model ustáleného proudění o volné hladině v programu HEC-RAS verze 4.1.0.

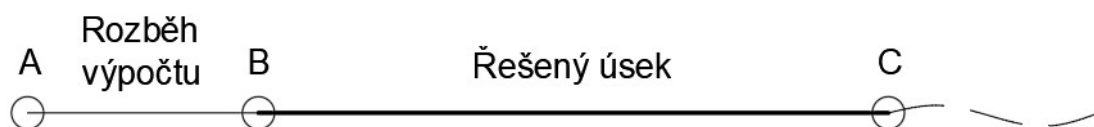
Pro výpočet ustáleného proudění (Steady Flow) je nutné zadat do programu veškerá potřebná geometrická data (Geometric Data) a okrajové podmínky pro řešení (Steady Flow Data).

4.1.2 Geometrická data

Geometrická data toku Bobrava, která jsem následně použil pro výpočet ustáleného proudění byla součástí podkladů předaných společně se zadáním mé diplomové práce.

Profily

V podkladech je zaměřeno 84 příčných profilů, pro výpočet kapacity koryta bylo využito jen 36 příčných profilů, zbylé příčné profily se nacházejí mimo řešený úsek, jak pod, tak také nad řešeným úsekem. Pro správný rozběh a funkci výpočtu ustáleného proudění byly připojeno několik profilů proti proudu nad řešeným úsekem viz schéma na Obrázek 4.1 – Schéma výpočtu v programu HEC-RAS



Obrázek 4.1 – Schéma výpočtu v programu HEC-RAS

Mosty a lávky pro pěší

V řešeném úseku se nachází celkem 2 mosty a 4 lávky pro pěší. Zaměření těchto objektů je neúplné. Zaměřeno je pouze v jakém říčním kilometru se nachází a vždy je u objektu zaměřen příčný profil. Data jsem doplnil po osobní pochůzce o výšku a šířku mostovky a výškové usazení mostovky jsem určil z výše zmíněných profilů.

Manningův součinitel drsnosti n

Manningův součinitel drsnosti n je jeden ze stěžejních parametrů pro správný výpočet průběhu hladin. Nesprávné určení součinitele může mít vážný vliv na výsledky výpočtu a ty se mohou velmi vzdalovat realitě.

Manningův součinitel drsnosti n v případě řešeného koryta byl převzat jak z Návrhu metodiky stanovení součinitele drsnosti otevřených koryt [11], tak byl určen odborným odhadem vycházejícím z tabulek stupňů drsností běžně uváděných v učebnicích hydrauliky.

Podrobněji se určením součinitele zabývají kapitoly 3.2.1, 3.4.1, 3.5.1, 3.6.1. Zde vypíši pouze všechny hodnoty dosazené do programu HEC-RAS.

- Dno kynety – $n = 0,052$
- Mostní profily (svislé betonové zdi) – $n = 0,025$
- Spádový stupeň – $n = 0,025$
- Svahy kynety – $n = 0,080; 0,100$
- Okolí koryta toku (rozlivy) – $n = 0,050$

4.1.3 Okrajové podmínky

Okrajové podmínky, které byly použity pro výpočet kapacity koryta jsou N-leté a m-denní průtoky, které jsou uvedeny podrobněji v kapitole Hydrologické poměry 2.5.

4.2 STANOVENÍ KAPACITY SOUČASNÉHO KORYTA

Ke správnému stanovení kapacity současného koryta byla využita geometrická data a okrajové podmínky, které jsou popsány výše, v kapitole 4.1. Vše bylo zadáno do modelu ve výpočetním programu HEC-RAS.

Kapacita koryta toku Bobrava byla počítána bez ovlivnění zpětného vzduť od soutoku s řekou Svratkou. V příčných profilech s vypočteným rozlivem bylo použito omezení inefektivními plochami (Ineffective flow areas).

V následujících tabulkách jsou znázorněny výsledky výpočtů průběhů hladin vztažené k výškám levého i pravého břehu. V závislosti na nich je určen stav vybřežení ANO/NE.

Tabulka 4.1 – Výška hladiny při průtoku Q_1

$Q_1 = 4,6 \text{ m}^3/\text{s}$						
Staničení	Výšková kóta dna	Výšková kóta hladiny	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení levého břehu	Vybřežení pravého břehu
[km]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
1.832	192.70	193.94	199.72	200.11	NE	NE
1.884	192.84	194.20	197.01	196.90	NE	NE
1.949	192.22	194.36	196.99	196.90	NE	NE
1.964	193.65	194.42	196.72	196.95	NE	NE
1.978	193.14	194.75	196.26	196.72	NE	NE
2.033	193.55	195.14	196.55	195.92	NE	NE
2.245	194.73	195.98	196.98	197.84	NE	NE
2.481	194.76	196.51	197.67	197.76	NE	NE
2.724	195.34	196.89	198.07	197.80	NE	NE
2.904	195.69	197.26	198.68	198.16	NE	NE
3.057	196.14	197.59	198.98	198.89	NE	NE
3.298	196.94	198.33	199.46	199.57	NE	NE
3.598	198.06	199.57	200.85	200.68	NE	NE
3.768	198.45	199.96	201.86	202.29	NE	NE
3.909	199.23	200.25	202.68	202.62	NE	NE
3.924	199.34	200.32	202.42	202.43	NE	NE
3.933	199.42	200.36	202.13	202.38	NE	NE
4.046	199.11	200.89	202.57	202.38	NE	NE
4.158	199.53	201.14	202.95	202.46	NE	NE
4.244	199.95	201.32	203.07	203.02	NE	NE
4.281	200.00	201.36	204.00	203.99	NE	NE
4.285	200.05	201.37	203.79	203.88	NE	NE
4.300	200.00	201.39	203.48	203.88	NE	NE
4.442	200.20	201.78	203.82	203.84	NE	NE
4.551	200.72	201.97	204.28	204.50	NE	NE
4.586	202.57	202.96	204.21	204.34	NE	NE
4.669	202.38	203.60	204.86	205.16	NE	NE
4.868	203.49	204.41	206.06	206.15	NE	NE
4.967	203.77	205.03	206.14	206.57	NE	NE
5.144	205.08	206.30	207.11	207.04	NE	NE
5.302	206.21	207.57	209.05	209.98	NE	NE
5.376	207.22	208.02	209.70	210.27	NE	NE
5.391	207.33	208.44	209.58	210.54	NE	NE
5.401	207.50	208.67	209.37	210.56	NE	NE
5.543	208.25	209.31	211.57	210.87	NE	NE
5.743	209.55	210.42	215.18	212.72	NE	NE

Tabulka 4.2 – Výška hladiny při průtoku Q_2

$Q_2 = 7,8 \text{ m}^3/\text{s}$						
Staničení	Výšková kóta dna	Výšková kóta hladiny	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení levého břehu	Vybřežení pravého břehu
[km]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
1.832	192.70	194.33	199.72	200.11	NE	NE
1.884	192.84	194.57	197.01	196.90	NE	NE
1.949	192.22	194.75	196.99	196.90	NE	NE
1.964	193.65	194.80	196.72	196.95	NE	NE
1.978	193.14	195.10	196.26	196.72	NE	NE
2.033	193.55	195.54	196.55	195.92	NE	NE
2.245	194.73	196.42	196.98	197.84	NE	NE
2.481	194.76	196.96	197.67	197.76	NE	NE
2.724	195.34	197.34	198.07	197.80	NE	NE
2.904	195.69	197.69	198.68	198.16	NE	NE
3.057	196.14	198.00	198.98	198.89	NE	NE
3.298	196.94	198.70	199.46	199.57	NE	NE
3.598	198.06	199.94	200.85	200.68	NE	NE
3.768	198.45	200.36	201.86	202.29	NE	NE
3.909	199.23	200.60	202.68	202.62	NE	NE
3.924	199.34	200.66	202.42	202.43	NE	NE
3.933	199.42	200.68	202.13	202.38	NE	NE
4.046	199.11	201.27	202.57	202.38	NE	NE
4.158	199.53	201.55	202.95	202.46	NE	NE
4.244	199.95	201.71	203.07	203.02	NE	NE
4.281	200.00	201.76	204.00	203.99	NE	NE
4.285	200.05	201.76	203.79	203.88	NE	NE
4.300	200.00	201.79	203.48	203.88	NE	NE
4.442	200.20	202.19	203.82	203.84	NE	NE
4.551	200.72	202.38	204.28	204.50	NE	NE
4.586	202.57	203.11	204.21	204.34	NE	NE
4.669	202.38	203.89	204.86	205.16	NE	NE
4.868	203.49	204.65	206.06	206.15	NE	NE
4.967	203.77	205.39	206.14	206.57	NE	NE
5.144	205.08	206.45	207.11	207.04	NE	NE
5.302	206.21	207.79	209.05	209.98	NE	NE
5.376	207.22	208.24	209.70	210.27	NE	NE
5.391	207.33	208.56	209.58	210.54	NE	NE
5.401	207.50	208.83	209.37	210.56	NE	NE
5.543	208.25	209.61	211.57	210.87	NE	NE
5.743	209.55	210.70	215.18	212.72	NE	NE

Tabulka 4.3 – Výška hladiny při průtoku Q_5

$Q_5 = 13,5 \text{ m}^3/\text{s}$						
Staničení	Výšková kóta dna	Výšková kóta hladiny	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení levého břehu	Vybřežení pravého břehu
[km]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
1.832	192.70	194.84	199.72	200.11	NE	NE
1.884	192.84	195.06	197.01	196.90	NE	NE
1.949	192.22	195.27	196.99	196.90	NE	NE
1.964	193.65	195.30	196.72	196.95	NE	NE
1.978	193.14	195.55	196.26	196.72	NE	NE
2.033	193.55	196.04	196.55	195.92	NE	ANO
2.245	194.73	196.98	196.98	197.84	ANO	NE
2.481	194.76	197.53	197.67	197.76	NE	NE
2.724	195.34	197.92	198.07	197.80	NE	ANO
2.904	195.69	198.24	198.68	198.16	NE	ANO
3.057	196.14	198.54	198.98	198.89	NE	NE
3.298	196.94	199.17	199.46	199.57	NE	NE
3.598	198.06	200.40	200.85	200.68	NE	NE
3.768	198.45	200.87	201.86	202.29	NE	NE
3.909	199.23	201.09	202.68	202.62	NE	NE
3.924	199.34	201.12	202.42	202.43	NE	NE
3.933	199.42	201.13	202.13	202.38	NE	NE
4.046	199.11	201.75	202.57	202.38	NE	NE
4.158	199.53	202.07	202.95	202.46	NE	NE
4.244	199.95	202.21	203.07	203.02	NE	NE
4.281	200.00	202.27	204.00	203.99	NE	NE
4.285	200.05	202.26	203.79	203.88	NE	NE
4.300	200.00	202.29	203.48	203.88	NE	NE
4.442	200.20	202.72	203.82	203.84	NE	NE
4.551	200.72	202.90	204.28	204.50	NE	NE
4.586	202.57	203.33	204.21	204.34	NE	NE
4.669	202.38	204.26	204.86	205.16	NE	NE
4.868	203.49	204.95	206.06	206.15	NE	NE
4.967	203.77	205.73	206.14	206.57	NE	NE
5.144	205.08	206.61	207.11	207.04	NE	NE
5.302	206.21	207.95	209.05	209.98	NE	NE
5.376	207.22	208.44	209.70	210.27	NE	NE
5.391	207.33	208.71	209.58	210.54	NE	NE
5.401	207.50	209.00	209.37	210.56	NE	NE
5.543	208.25	209.96	211.57	210.87	NE	NE
5.743	209.55	211.05	215.18	212.72	NE	NE

Tabulka 4.4 – Výška hladiny při průtoku Q_{10}

$Q_{10} = 19,0 \text{ m}^3/\text{s}$						
Staničení	Výšková kóta dna	Výšková kóta hladiny	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení levého břehu	Vybřežení pravého břehu
[km]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
1.832	192.70	195.22	199.72	200.11	NE	NE
1.884	192.84	195.42	197.01	196.90	NE	NE
1.949	192.22	195.65	196.99	196.90	NE	NE
1.964	193.65	195.68	196.72	196.95	NE	NE
1.978	193.14	195.91	196.26	196.72	NE	NE
2.033	193.55	196.42	196.55	195.92	NE	ANO
2.245	194.73	197.32	196.98	197.84	ANO	NE
2.481	194.76	197.87	197.67	197.76	ANO	ANO
2.724	195.34	198.24	198.07	197.80	ANO	ANO
2.904	195.69	198.58	198.68	198.16	NE	ANO
3.057	196.14	198.88	198.98	198.89	NE	ANO
3.298	196.94	199.51	199.46	199.57	ANO	NE
3.598	198.06	200.75	200.85	200.68	NE	ANO
3.768	198.45	201.25	201.86	202.29	NE	NE
3.909	199.23	201.45	202.68	202.62	NE	NE
3.924	199.34	201.53	202.42	202.43	NE	NE
3.933	199.42	201.54	202.13	202.38	NE	NE
4.046	199.11	202.13	202.57	202.38	NE	NE
4.158	199.53	202.48	202.95	202.46	NE	ANO
4.244	199.95	202.61	203.07	203.02	NE	NE
4.281	200.00	202.66	204.00	203.99	NE	NE
4.285	200.05	202.66	203.79	203.88	NE	NE
4.300	200.00	202.69	203.48	203.88	NE	NE
4.442	200.20	203.12	203.82	203.84	NE	NE
4.551	200.72	203.30	204.28	204.50	NE	NE
4.586	202.57	203.50	204.21	204.34	NE	NE
4.669	202.38	204.58	204.86	205.16	NE	NE
4.868	203.49	205.17	206.06	206.15	NE	NE
4.967	203.77	206.00	206.14	206.57	NE	NE
5.144	205.08	206.75	207.11	207.04	NE	NE
5.302	206.21	208.06	209.05	209.98	NE	NE
5.376	207.22	208.57	209.70	210.27	NE	NE
5.391	207.33	208.83	209.58	210.54	NE	NE
5.401	207.50	209.12	209.37	210.56	NE	NE
5.543	208.25	210.21	211.57	210.87	NE	NE
5.743	209.55	211.32	215.18	212.72	NE	NE

Tabulka 4.5 – Výška hladiny při průtoku Q_{20}

$Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$						
Staničení	Výšková kóta dna	Výšková kóta hladiny	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení levého břehu	Vybřežení pravého břehu
[km]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
1.832	192.70	195.56	199.72	200.11	NE	NE
1.884	192.84	195.75	197.01	196.90	NE	NE
1.949	192.22	195.99	196.99	196.90	NE	NE
1.964	193.65	196.01	196.72	196.95	NE	NE
1.978	193.14	196.25	196.26	196.72	ANO	NE
2.033	193.55	196.73	196.55	195.92	ANO	ANO
2.245	194.73	197.60	196.98	197.84	ANO	NE
2.481	194.76	198.14	197.67	197.76	ANO	ANO
2.724	195.34	198.51	198.07	197.80	ANO	ANO
2.904	195.69	198.85	198.68	198.16	ANO	ANO
3.057	196.14	199.17	198.98	198.89	ANO	ANO
3.298	196.94	199.77	199.46	199.57	ANO	ANO
3.598	198.06	201.01	200.85	200.68	ANO	ANO
3.768	198.45	201.57	201.86	202.29	NE	NE
3.909	199.23	201.77	202.68	202.62	NE	NE
3.924	199.34	201.93	202.42	202.43	NE	NE
3.933	199.42	201.93	202.13	202.38	NE	NE
4.046	199.11	202.49	202.57	202.38	NE	ANO
4.158	199.53	202.88	202.95	202.46	NE	ANO
4.244	199.95	202.99	203.07	203.02	NE	NE
4.281	200.00	203.08	204.00	203.99	NE	NE
4.285	200.05	203.07	203.79	203.88	NE	NE
4.300	200.00	203.10	203.48	203.88	NE	NE
4.442	200.20	203.53	203.82	203.84	NE	NE
4.551	200.72	203.69	204.28	204.50	NE	NE
4.586	202.57	203.83	204.21	204.34	NE	NE
4.669	202.38	204.74	204.86	205.16	NE	NE
4.868	203.49	205.34	206.06	206.15	NE	NE
4.967	203.77	206.24	206.14	206.57	ANO	NE
5.144	205.08	206.90	207.11	207.04	NE	NE
5.302	206.21	208.17	209.05	209.98	NE	NE
5.376	207.22	208.70	209.70	210.27	NE	NE
5.391	207.33	208.94	209.58	210.54	NE	NE
5.401	207.50	209.23	209.37	210.56	NE	NE
5.543	208.25	210.43	211.57	210.87	NE	NE
5.743	209.55	211.56	215.18	212.72	NE	NE

Tabulka 4.6 – Výška hladiny při průtoku Q_{50}

$Q_{50} = 35,5 \text{ m}^3/\text{s}$						
Staničení	Výšková kóta dna	Výšková kóta hladiny	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení levého břehu	Vybřežení pravého břehu
[km]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
1.832	192.70	196.12	199.72	200.11	NE	NE
1.884	192.84	196.28	197.01	196.90	NE	NE
1.949	192.22	196.52	196.99	196.90	NE	NE
1.964	193.65	196.53	196.72	196.95	NE	NE
1.978	193.14	196.78	196.26	196.72	ANO	ANO
2.033	193.55	197.16	196.55	195.92	ANO	ANO
2.245	194.73	197.98	196.98	197.84	ANO	ANO
2.481	194.76	198.53	197.67	197.76	ANO	ANO
2.724	195.34	198.89	198.07	197.80	ANO	ANO
2.904	195.69	199.24	198.68	198.16	ANO	ANO
3.057	196.14	199.56	198.98	198.89	ANO	ANO
3.298	196.94	200.14	199.46	199.57	ANO	ANO
3.598	198.06	201.34	200.85	200.68	ANO	ANO
3.768	198.45	201.91	201.86	202.29	ANO	NE
3.909	199.23	202.20	202.68	202.62	NE	NE
3.924	199.34	202.54	202.42	202.43	ANO	ANO
3.933	199.42	202.54	202.13	202.38	ANO	ANO
4.046	199.11	202.91	202.57	202.38	ANO	ANO
4.158	199.53	203.23	202.95	202.46	ANO	ANO
4.244	199.95	203.32	203.07	203.02	ANO	ANO
4.281	200.00	203.49	204.00	203.99	NE	NE
4.285	200.05	203.48	203.79	203.88	NE	NE
4.300	200.00	203.51	203.48	203.88	ANO	NE
4.442	200.20	204.00	203.82	203.84	ANO	ANO
4.551	200.72	204.19	204.28	204.50	NE	NE
4.586	202.57	204.27	204.21	204.34	ANO	NE
4.669	202.38	204.97	204.86	205.16	ANO	NE
4.868	203.49	205.59	206.06	206.15	NE	NE
4.967	203.77	206.61	206.14	206.57	ANO	ANO
5.144	205.08	207.15	207.11	207.04	ANO	ANO
5.302	206.21	208.32	209.05	209.98	NE	NE
5.376	207.22	208.88	209.70	210.27	NE	NE
5.391	207.33	209.12	209.58	210.54	NE	NE
5.401	207.50	209.40	209.37	210.56	ANO	NE
5.543	208.25	210.73	211.57	210.87	NE	NE
5.743	209.55	211.90	215.18	212.72	NE	NE

Tabulka 4.7 – Výška hladiny při průtoku Q_{100}

$Q_{100} = 45,5 \text{ m}^3/\text{s}$						
Staničení	Výšková kóta dna	Výšková kóta hladiny	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení levého břehu	Vybřežení pravého břehu
[km]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
1.832	192.70	196.46	199.72	200.11	NE	NE
1.884	192.84	196.61	197.01	196.90	NE	NE
1.949	192.22	196.88	196.99	196.90	NE	NE
1.964	193.65	196.95	196.72	196.95	ANO	ANO
1.978	193.14	197.19	196.26	196.72	ANO	ANO
2.033	193.55	197.53	196.55	195.92	ANO	ANO
2.245	194.73	198.28	196.98	197.84	ANO	ANO
2.481	194.76	198.85	197.67	197.76	ANO	ANO
2.724	195.34	199.19	198.07	197.80	ANO	ANO
2.904	195.69	199.56	198.68	198.16	ANO	ANO
3.057	196.14	199.88	198.98	198.89	ANO	ANO
3.298	196.94	200.45	199.46	199.57	ANO	ANO
3.598	198.06	201.60	200.85	200.68	ANO	ANO
3.768	198.45	202.17	201.86	202.29	ANO	NE
3.909	199.23	202.46	202.68	202.62	NE	NE
3.924	199.34	202.95	202.42	202.43	ANO	ANO
3.933	199.42	202.97	202.13	202.38	ANO	ANO
4.046	199.11	203.24	202.57	202.38	ANO	ANO
4.158	199.53	203.52	202.95	202.46	ANO	ANO
4.244	199.95	203.59	203.07	203.02	ANO	ANO
4.281	200.00	203.86	204.00	203.99	NE	NE
4.285	200.05	203.87	203.79	203.88	ANO	ANO
4.300	200.00	203.90	203.48	203.88	ANO	ANO
4.442	200.20	204.33	203.82	203.84	ANO	ANO
4.551	200.72	204.51	204.28	204.50	ANO	ANO
4.586	202.57	204.56	204.21	204.34	ANO	ANO
4.669	202.38	205.17	204.86	205.16	ANO	ANO
4.868	203.49	205.90	206.06	206.15	NE	NE
4.967	203.77	206.94	206.14	206.57	ANO	ANO
5.144	205.08	207.38	207.11	207.04	ANO	ANO
5.302	206.21	208.45	209.05	209.98	NE	NE
5.376	207.22	209.03	209.70	210.27	NE	NE
5.391	207.33	209.27	209.58	210.54	NE	NE
5.401	207.50	209.53	209.37	210.56	ANO	NE
5.543	208.25	210.97	211.57	210.87	NE	ANO
5.743	209.55	212.17	215.18	212.72	NE	NE

5 HYDROEKOLOGICKÝ MONITORING – HEM

5.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

V rámci řešení diplomové práce byl zpracován hydroekologický monitoring zájmové lokality na toku Bobravě. Na úvod následujícího hodnocení HEM je vhodné doplnit základní informace a představit použitou metodiku a postup hodnocení jednotlivých ukazatelů. Následující části textu vychází přímo z metodiky monitoringu hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků (Langhammer, 2014), jež byla v témže roce schválena Ministerstvem životního prostředí České republiky.

Monitoring hydromorfologických charakteristik toků představuje součást systému monitoringu složek ekologického stavu vodních útvarů pro naplnění požadavků Rámcové směrnice o vodní politice ES 2000/60/ES (ES 2000, dále RSV).

Metodika HEM 2014 řeší otázku metodiky monitoringu hydromorfologických charakteristik toků. Metodika HEM 2014 představuje původní metodický postup pro monitoring, respektuje základní východiska daná požadavky legislativy ČR i EU, kompatibilitu s dosavadními hodnotícími přístupy i hlediska praktické aplikovatelnosti při rutinní aplikaci. Aktuální podoba metodiky vychází z předcházející verze metodiky hydroekologického monitoringu HEM (Langhammer, 2007), přičemž zachovává zpětnou kompatibilitu hodnocení. [12]

5.2 VÝCHODISKA METODIKY

Základní východiska pro definici metodiky hydromorfologického monitoringu toků HEM představují následující principy [12]:

- Soulad s požadavky Rámcové směrnice ES o vodní politice 2000/60/ES a Zákona o vodách č. 254/2001, soulad s evropskou i českou normou ČSN EN 14614 – Návod pro hodnocení hydromorfologických charakteristik toků,
- soulad s evropskou i českou normou ČSN EN 15843 - Jakost vod – Návod pro určení stupně modifikace hydromorfologie řek,
- návaznost na stávající legislativní předpisy a metodické přístupy aplikované v ČR a EU, zejména Vyhláška č. 98/2011 Sb. o hodnocení stavu útvarů povrchových vod a
- praktickou aplikovatelnost v rámci programů monitoringu v ČR.

5.3 VYMEZENÍ SLEDOVANÝCH JEDNOTEK

Na základě normy ČSN EN 14614 lze užít alternativní způsob vymezení sledovaných jednotek – úseků toku. Úseky toku se dají určit dvěma způsoby, buď pomocí pevně stanovené délky, nebo metodou proměnlivé délky úseků, vymezených na základě podobnosti hydromorfologických parametrů. Druhý zmíněný způsob právě využívá popisovaná metodika HEM, kapitola 5.4. – Hierarchický princip hodnocení.

Sledované jednotky jsou v metodice HEM podrobněji rozděleny do třech zón. První zónu představuje samostatné koryto a jeho vnitřní části. Druhou zónu tvoří břehy toku a tzv. příbřežní zóna, jež je definována jako pás údolního dna do vzdálenosti 50,0 m od koryta toku na levém či pravém břehu. Jako třetí zóna je označeno inundační území, jehož hodnocení se provádí v celém rozsahu údolní nivy.

5.4 HIERARCHICKÝ PRINCIP HODNOCENÍ

Hodnocení ekologického stavu a jednotlivých složek hydromorfologické kvality je založeno na hierarchickém prostorovém principu [12]:

- Monitoring složek hydromorfologické kvality a jejich jednotlivých dílčích ukazatelů je prováděn na úsecích vodních toků, vymezených pro potřeby monitoringu,
- klasifikace ekologického stavu se provádí pro vodní útvary. Pro účely hodnocení na úrovni vodního útvaru jsou agregovány dílčí výsledky hodnocení hydromorfologických charakteristik kvality úseků toků, na kterých probíhá monitoring,
- jednotlivé ukazatele metodiky HEM se monitorují odděleně pro každý úsek vodního útvaru vymezený pro účely hodnocení hydromorfologických složek tak, aby byla v rámci hodnocení co nejlépe postižena rozdílná kvalita úseků, což umožňuje cílit konkrétní opatření do úseků v nejhorším stavu a zároveň chránit úseky, které dosahují dobrého a velmi dobrého stavu. V rámci hodnocení jednotlivých složek ekologického stavu je pak stanovován stav hydromorfologických složek pro celý vodní útvar.

5.5 SLEDOVANÉ UKAZATELE

Definice sledovaných ukazatelů jsou v metodice HEM uvedeny takovým způsobem, aby korespondovaly se strukturou hydromorfologických složek dle požadavků RSV 2000/60/ES a souhlasily s definicemi zveřejněnými v evropských standardech ČSN EN 14614 a ČSN EN 15843.

Předmětem monitoringu a následného hodnocení jsou níže vypsané parametry hydromorfologické kvality [12]:

5.5.1 Koryto

1. Upravenost trasy toku (TRA)
2. Variabilita šířky koryta (VSK)
3. Variabilita zahloubení v podélném profilu (VHL)
4. Variabilita hloubek v příčném profilu (VHP)

5. Dnový substrát (DNS)
6. Upravenost dna (UDN)
7. Mrtvé dřevo v korytě (MDK)
8. Struktury dna (STD)
9. Charakter proudění (PRO)
10. Ovlivnění hydrologického režimu (OHR)
11. Podélná průchodnost koryta (PPK)

5.5.2 Říční břehy a příbřežní zóna

12. Upravenost břehu (UBR)
13. Břehová vegetace (BVG)
14. Využití příbřežní zóny (VPZ)

5.5.3 Inundační území

15. Využití údolní nivy (VNI)
16. Průchodnost inundačního území (PIN)
17. Stabilita břehu a boční migrace koryta (BMK)

5.6 PODKLADY PRO MAPOVÁNÍ

Ke zjištění hodnot ukazatelů hydromorfologického stavu jsou využívány dvě metody – terénní mapování a vyhodnocení na základě distančních podkladů. Terénní mapování je považováno za základní metodu z důvodu, že lze v terénu zjistit mnohem více informací než z vyhodnocení na základě distančních podkladů – v závislosti na charakteru toku a dostupnosti podkladů.

Obě metody pořízení vstupních dat jsou z hlediska využití a hodnocení dat rovnocenné. Během rozhodování o využití podkladů z jedné či druhé metody získání dat, pro posuzovaný úsek a konkrétní ukazatel platí, že využít je ten podklad, který má vyšší míru spolehlivosti stanovení.

5.6.1 Pomůcky pro terénní mapování

- Mapovací formulář,
- mapa okolí,
- přístrojové vybavení pro měření – fotoaparát, dálkoměr, aj.,
- náčrt situace úseku.

5.7 POSTUP PŘI MAPOVÁNÍ A ZPRACOVÁNÍ DAT

Mapování a zpracování dat probíhá dle metodiky HEM v následující posloupnosti dílčích úkonů [12]:

- Vymezení hranic úseků v rámci monitorovaného vodního útvaru,
- zákres hranic úseků do podkladové mapy včetně ID těchto úseků,
- záznam charakteristik monitorovaných parametrů do formuláře včetně pořizování fotodokumentace, poznámek a zpřesňování záznamu charakteristik z distančních dat na základě aktuálního stavu v terénu,
- zjištění doplňujících informací,
- digitalizace údajů z mapovacího formuláře,
- propojení databázových dat s úseky v GIS,
- vyhodnocení výsledků.

5.7.1 Spolehlivost stanovení dat

Spolehlivost stanovení dat je jedním ze stěžejních faktorů kvality celého provedeného mapování. Data se zařídí dle následující Tabulky 5.1 – Spolehlivostní třídy do kategorií A až C. Zařazení usnadňuje určení případných zdrojů nepřesností v hodnocení HEM.

Tabulka 5.1 – Spolehlivostní třídy [13]

<i>Třída spolehlivosti</i>	<i>Terénní mapování</i>	<i>Distanční data</i>
A <i>stanovení s jistotou</i>	Ukazatele hodnoceny v korytě toku broděním, případně s jistotou z břehu.	Distanční podklady poskytují dostatečnou informaci ke spolehlivému rozlišení jednotlivých kategorií.
B <i>stanovení s částečnou nejistotou</i>	Stanovení z břehu, kdy např. díky břehové vegetaci nebylo možné určit všechny prvky s jistotou, ale celková míra spolehlivost stanovení zůstává vysoká.	Distanční podklady poskytují dostatečnou informaci k rozlišení jednotlivých kategorií, ale zatíženou částečnou nejistotou nebo nepřesností v rozlišení parametrů nebo rozsahem pokrytí úseku.
C <i>stanovení expertním odhadem</i>	Přímé stanovení v korytě nebo z břehu není možné, např. díky omezení přístupu mapovatele k toku a hodnota je určena expertním odhadem mapovatele.	Přesné rozlišení kategorií není možné, ale charakter dat a hodnoceného prostředí dává předpoklad, že expertní odhad se nebude významně odchylovat od skutečnosti.

5.8 MAPOVÁNÍ A ZÍSKÁNÍ DAT IN SITU

Jak již bylo podrobněji zmíněno v kapitole 3.3 – Rozdělení na dílčí úseky, zájmovou lokalitu jsem na základě jak odlišné morfologie koryta, tak rozdílnosti příbřežní zóny rozdělil na 3 dílčí úseky. Rozdělení je ponecháno i pro účely monitoringu hydromorfologických ukazatelů toku Bobravy.

Mapování in situ bylo provedeno dne 1.10.2018, v dopoledních hodinách. Polojasno, teplota okolo 17 °C, viditelnost dobrá.

Po zpracování údajů z terénního mapování jsem doplnil mapový formulář o chybějící údaje z distančních podkladů. V dalším kroku jsem získaná data vyhodnotil, pro každý úsek jednotlivě, dle dokumentu: Metodika typově specifického hodnocení hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků (Langhammer, 2014).

5.9 VYHODNOCENÍ DAT

5.9.1 Princip hodnocení

Typově specifické hodnocení je založeno na principu skórování jednotlivých parametrů, hodnocených z pohledu jejich vlivu na hydromorfologickou kvalitu toku. Jako vstupní data jsou použity primárně výsledky terénního monitoringu podle metodiky HEM, u některých ukazatelů doplněné o charakteristiky, zjištěné z datových podkladů. Skórování je u většiny ukazatelů založeno na hodnocení četnosti nebo rozsahu výskytu jednotlivých hodnocených forem úprav, využití krajiny nebo vlastností prostředí toku a nivy. Hodnocení odráží hierarchický princip – základní hodnocení probíhá na jednotlivých mapovaných úsecích, ze kterých je odvozena hodnota pro daný vodní útvar. Pro hodnocení jsou využity hodnoty ukazatelů, zaznamenané v mapovacím formuláři vždy pro daný mapovaný úsek toku. Do hodnocení vstupují ukazatele, označené v mapovacím formuláři pořadovým číslem 1-17. Část mapovaných ukazatelů má informativní charakter a nepředstavuje samostatný hodnotící ukazatel. Jde konkrétně o identifikační údaje, geometrické charakteristiky úseku a záznam výskytu invazních druhů úseku. Tyto informace jsou významné pro další účely, související shydroekologickým monitoringem, např. pro verifikaci a interpretaci výsledků hodnocení. [13]

5.9.2 Postup hodnocení

Postup hodnocení je založen na skórování individuálních ukazatelů. Určené skóre se dále propaguje ve výpočtu hodnot pro nadřazené funkční nebo prostorové hierarchické úrovně. Proces hodnocení se řídí níže uvedenou posloupností jednotlivých kroků:

- Skórování hydromorfologické kvality hodnocených ukazatelů
- Výpočet hydromorfologické kvality úseku
- Klasifikace hydromorfologického stavu úseku
- Výpočet hydromorfologické kvality vodního útvaru
- Klasifikace hydromorfologické kvality vodního útvaru

Skórování hydromorfologické kvality hodnocených ukazatelů

Jednotlivé ukazatele se klasifikují na stupnici od 1 do 5, přičemž 1 znamená stav nejlepší a 5 stav nejhorší. U ukazatelů, kde je monitoring prováděn jak na pravém, tak na levém břehu a ukazatele jsou hodnoceny v závislosti na tomto faktu oddílně, se vždy uvažuje horší (vyšší) dosažená hodnota.

Výpočet hydromorfologické kvality úseku

Hydromorfologická kvalita úseku je určena jako vážený průměr skóre, které se vypočte individuálně pro ukazatele, v závislosti na skórovací tabulce platné pro jednotlivé ukazatele a skupiny typů. Váhy použité v rovnici 5.9.2 nejsou znakem hierarchie ukazatelů, ale slouží k odlišení významu jednotlivých ukazatelů pro hydromorfologickou kvalitu toku v různých přírodních prostředích. Hodnoty vah shrnuje Tabulka 5.2 – Váhy ukazatelů dle skupiny typů.

$$\begin{aligned}
 HMS = & (TRA \cdot k_{tra_typ} + VSK \cdot k_{vsk_typ} + VHL \cdot k_{vhl_typ} + VHP \cdot k_{vhp_typ} \\
 & + DNS \cdot k_{dns_typ} + UDN \cdot k_{udn_typ} + MDK \cdot k_{mdk_typ} + STD \cdot k_{std_typ} \\
 & + PRO \cdot k_{pro_typ} + OHR \cdot k_{ohr_typ} + PPK \cdot k_{ppk_typ} + UBR \cdot k_{ubr_typ} \\
 & + BVG \cdot k_{bvg_typ} + VPZ \cdot k_{vpz_typ} + VNI \cdot k_{vni_typ} + PIN \cdot k_{pin_typ} \\
 & + BMK \cdot k_{cpr_typ}) / 4
 \end{aligned} \quad (5.9.2)$$

Tabulka 5.2 – Váhy ukazatelů dle skupiny typů

	Skupiny typů							Řeka (REK)
	Horský tok (HOR)	Potok vrchoviný (PVR)	Tok vrchoviný (TVR)	Potok pahorkat. na krystaliniku (PPK)	Potok pahorkatinný na sedimentu (PPS)	Tok pahorkatinný (TPK)	Tok nížinný (TNI)	
Suma vah	4	4	4	4	4	4	4	4
Koryto a trasa toku	3	3	2.7	2.6	2.6	2.3	1.9	1.8
Upravenost trasy toku (TRA)	1.1	1.1	1.1	1	1	0.9	0.9	0.8
Variabilita šířky koryta (VSK)	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
Variabilita zahloubení v podél. profilu (VHL)	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
Variabilita hloubek v příčném profilu (VHP)	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
Charakter proudění (PRO)	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
Ovlivnění hydrologického režimu (OHR)	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
Dno a podélný profil								
Upravenost dna (UDN)	0.3	0.3	0.25	0.25	0.25	0.15	0.1	0.1
Struktura dna (STD)	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1
Dnový substrát (DNS)	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
Mrtvé dřevo v korytě (MDK)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
Podélná průchodnost koryta (PPK)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3
Břeh a přibřežní zóna	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	1	1
Upravenost břehu (UBR)	0.3	0.3	0.3	0.25	0.25	0.2	0.2	0.2
Břehová vegetace (BVG)	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
Využití přibřežní zóny (VPZ)	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7	0.7
Inundační území	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.9	1.1	1.2
Využití údolní nivy (VNI)	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	0.7
Průchodnost inundačního území (PIN)	0.1	0.1	0.15	0.15	0.15	0.2	0.25	0.25
Stabilita břehu a boční migrace koryta (BMK)	0.1	0.1	0.15	0.15	0.15	0.2	0.25	0.25

Hodnoty vah se dělí v závislosti na typu toku. Řeka Bobrava v zájmové lokalitě typově odpovídá *toku nížinnému – TNI*. V Tabulce 5.2 jsou proto hodnoty pro řeku Bobravu vyznačeny v červeném rámečku.

Klasifikace hydromorfologického stavu úseku

Klasifikace hydromorfologického stavu je provedena přiřazením vypočtené hodnoty hydromorfologické kvality úseku do jedné z pěti tříd hydromorfologického stavu podle hraničních hodnot, odpovídající intervalům, definovaným ČSN EN 15843 v Tabulce 5.3. Při mapovém zobrazení je doporučeno barevně odlišit jednotlivé třídy hydromorfologické kvality v souladu s normou ČSN EN 14614. [13]

Tabulka 5.3 – Klasifikace hydromorfologického stavu úseku

Skóre			Třída	Hydromorfologický stav	Barva na mapě
\geq		$<$			
1	-	1,5	I.	Přírodě blízký	Modrá
1,5	-	2,5	II.	Slabě modifikovaný	Zelená
2,5	-	3,5	III.	Středně modifikovaný	Žlutá
3,5	-	4,5	IV.	Značně modifikovaný	Oranžová
4,5	-	5	V.	Silně modifikovaný	Červená

Výpočet hydromorfologické kvality vodního útvaru

Hydromorfologická kvalita vodního útvaru je vypočtena jako vážený průměr vypočtené hodnoty hydromorfologického stavu jednotlivých hodnocených úseků, kde vahou je délka úseku. Výpočet je proveden podle rovnice 5.9.3.

$$HMK_{VU} = \frac{\sum_{i=1}^n HMK_i \cdot L_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad (5.9.3)$$

Kde: $HMK_{VU}...$ výsledná hydromorfologická kvalita vodního útvaru,
 $HMK_i...$ hydromorfologická kvalita i-tého úseku,
 $L_i...$ délka i-tého úseku,
 $n...$ počet hodnocených úseků v rámci vodního útvaru.

Klasifikace hydromorfologického stavu vodního útvaru

Klasifikace hydromorfologického stavu vodního útvaru spočívá v zařazení vypočtené hodnoty hydromorfologické kvality vodního útvaru dle rovnice 5.9.3, analogicky s klasifikací hydromorfologického stavu úseku do Tabulky 5.3, a v následném vymezení barvy na mapě, dle náležité třídy.

5.9.3 Výsledky

Úsek č. 1

Tabulka 5.4 znázorňuje jednotlivé hodnocení ukazatelů v úseku č. 1 a výsledek výpočtu hydromorfologické kvality úseku. Úsek č. 1 dosáhl výsledku 2,70, což dle Tabulky 5.3 znamená úsek středně modifikovaný, označen žlutou barvou.

Tabulka 5.4 – Výsledek metodiky HEM – úsek č. 1

Úsek č. 1					
Ukazatel	Skóre	Koeficient	Součin	SUMA Součinů	Výsledek
TRA	1	0,90	0,90	10,80	2,70
VSK	1	0,20	0,20		
VHL	2	0,05	0,10		
VHP	2	0,05	0,10		
DNS	1	0,05	0,05		
UDN	1	0,10	0,10		
MDK	1	0,05	0,05		
STD	5	0,10	0,50		
PRO	1	0,05	0,05		
OHR	1	0,05	0,05		
PPK	1	0,30	0,30		
UBR	3	0,20	0,60		
BVG	3	0,10	0,30		
VPZ	5	0,70	3,50		
VNI	5	0,60	3,00		
PIN	3	0,25	0,75		
BMK	1	0,25	0,25		

Úsek č. 2

Tabulka 5.5 znázorňuje jednotlivé hodnocení ukazatelů v úseku č. 2 a výsledek výpočtu hydromorfologické kvality úseku. Úsek č. 2 dosáhl výsledku 2,09, což dle Tabulky 5.3 znamená úsek slabě modifikovaný, označen zelenou barvou.

Tabulka 5.5 – Výsledek metodiky HEM – úsek č. 2

Úsek č. 2					
Ukazatel	Skóre	Koeficient	Součin	SUMA Součinů	Výsledek
TRA	1	0,90	0,90	8,35	2,09
VSK	1	0,20	0,20		
VHL	1	0,05	0,05		
VHP	2	0,05	0,10		
DNS	1	0,05	0,05		
UDN	1	0,10	0,10		
MDK	1	0,05	0,05		
STD	1	0,10	0,10		
PRO	1	0,05	0,05		
OHR	1	0,05	0,05		
PPK	1	0,30	0,30		
UBR	2	0,20	0,40		
BVG	3	0,10	0,30		
VPZ	4	0,70	2,80		
VNI	4	0,60	2,40		
PIN	1	0,25	0,25		
BMK	1	0,25	0,25		

Úsek č. 3

Tabulka 5.6 znázorňuje jednotlivé hodnocení ukazatelů v úseku č. 3 a výsledek výpočtu hydromorfologické kvality úseku. Úsek č. 3 dosáhl výsledku 2,80, což dle Tabulky 5.3 znamená úsek středně modifikovaný, označen žlutou barvou.

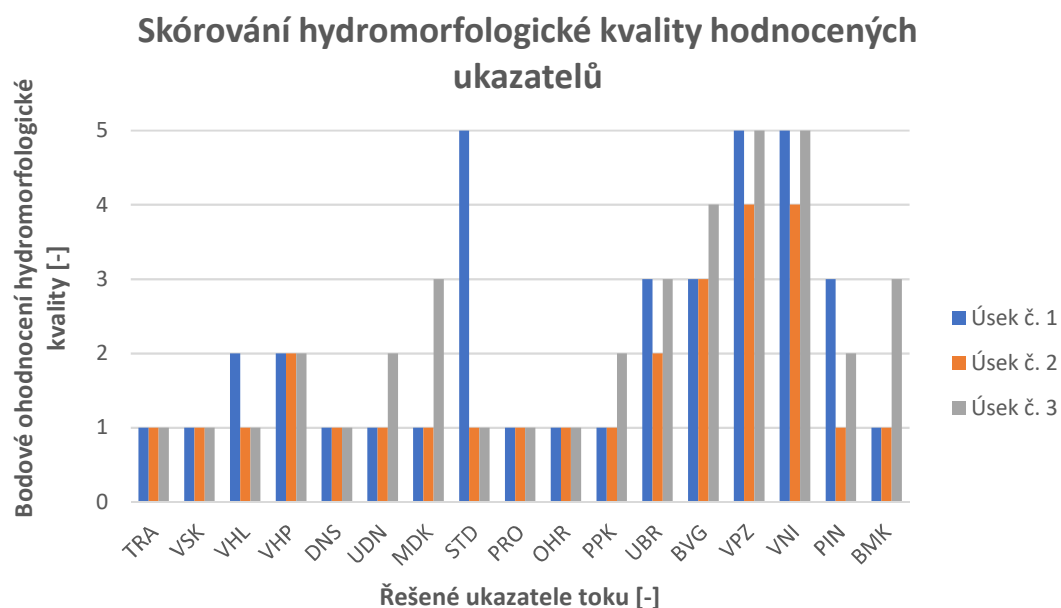
Tabulka 5.6 – Výsledek metodiky HEM – úsek č. 3

Úsek č. 3					
Ukazatel	Skóre	Koeficient	Součin	SUMA Součinů	Výsledek
TRA	1	0,90	0,90	11,20	2,80
VSK	1	0,20	0,20		
VHL	1	0,05	0,05		
VHP	2	0,05	0,10		
DNS	1	0,05	0,05		
UDN	2	0,10	0,20		
MDK	3	0,05	0,15		
STD	1	0,10	0,10		
PRO	1	0,05	0,05		
OHR	1	0,05	0,05		
PPK	2	0,30	0,60		
UBR	3	0,20	0,60		
BVG	4	0,10	0,40		
VPZ	5	0,70	3,50		
VNI	5	0,60	3,00		
PIN	2	0,25	0,50		
BMK	3	0,25	0,75		

Porovnání úseků

V rámci skórování hydromorfologické kvality hodnocených ukazatelů považují za přínosné porovnat zkoumané úseky č.1, 2, 3 v jednotlivých ukazatelích. Porovnání je provedeno v Grafu č. 1.

Graf č. 1 – Skórování hydromorfologické kvality hodnocených ukazatelů



Hydromorfologická kvalita vodního útvaru

Dílčí hodnoty pro výpočet a výsledek výpočtu hydromorfologické kvality vodního útvaru dle výše popsané rovnice 5.9.3 jsou uvedeny v následující Tabulce 5.7. Skóre Hydromorfologické kvality vodního útvaru celého úseku v zájmové lokalitě dosáhlo hodnoty 2,54, což analogicky dle Tabulky 5.3 znamená vodní útvar středně modifikovaný, označen žlutou barvou.

Tabulka 5.7 – Hydromorfologická kvalita vodního útvaru

Úsek	Délka [m]	Hydromorfologická kvalita úseku [-]	Hydromorfologická kvalita vodního útvaru [-]
Úsek č. 1	649,0	2,70	2,54
Úsek č. 2	1319,0	2,09	
Úsek č. 3	1943,0	2,80	

5.10 ZÁVĚR HODNOCENÍ HEM

Z hlediska monitoringu dle metodiky HEM úsek toku Bobrava v zájmové lokalitě dosáhl v rámci hydromorfologické kvality vodního útvaru skóre 2,54. Tato hodnota se pohybuje na dolní hranici III. třídy – středně modifikovaný, velice se přibližující k II. třídě – slabě modifikovaný. Musím však podotknout, že v případě monitoringu dle metodiky HEM se jedná o velmi subjektivní metodu, do které vstupuje velké množství nejistot v podobě možné nepřesnosti získaných dat při mapování a případné nezkušenosti řešitele. Pravděpodobně by jiná osoba při řešení stejného úseku došla k mírně odlišnému výsledku, proto nelze uvažovat výsledek hodnocení HEM za striktní verdikt.

6 POSOUZENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

6.1 STAV KORYTA

Všechny informace o třech dílčích úsecích č. 1, 2, 3 jsou podrobně uvedeny v kapitolách 3.4, 3.5, 3.6. V rámci kapitoly 6.1 shrnu důležité skutečnosti v návaznosti na současný stav koryta a jeho posouzení.

6.1.1 Úsek č. 1

Pata svahu v celém úseku č. 1 je opevněna kamenným záhozem, který je z velké části poškozen. Vytržené kameny ze záhozu jsou vláčeny po dně, kde narušují přirozenou skladbu říčního dna. V místech, kde je celý svah opevněn železobetonovými polovegetačními tvárniciemi jsou tvárnice výrazně mechanicky poškozeny a v následku zmíněné destabilizace paty svahu postupně sesouvají po svahu koryta na dno toku.

Svahy koryta úseku č. 1 jsou výrazně zaplevelené, hojně se zde vyskytují zástupci keřového a stromového patra. Dle výšky porostu v korytě a stavu opevnění svahů je jasné, že koryto v tomto úseku nebylo po provedených úpravách mnoho let nijak udržováno.

6.1.2 Úsek č. 2

Úsek č. 2 v rámci monitoringu HEM dosáhl nejlepšího skóre ze všech třech dílčích úseků a zařadil se do II. třídy – slabě modifikovaný. Výsledek není nijak překvapivý. Jedná se o úsek, procházející extravilánem, do kterého bylo zasahováno pouze minimálně. Jediný antropogenní zásah se zde projevuje na části úseku, kde byla stabilizována pata svahu kamenným záhozem. Stav porušení opevnění je podobný jako v úseku č. 1, v dolní části úseku č. 2 je kamenný zához degradován úplně.

Situace ohledně zaplevelení koryta toku je srovnatelná s úsekem č. 1. Rozdílné je pouze rozdělení jednotlivých vegetačních pater, kdy v dolní části úseku převládá spíše keřové patro a na horní části se nachází více patro stromové. Kvůli husté vegetaci dochází často k zachycování nečistot a tvoření lokálních ucpávek koryta, které způsobují dočasné nepatrné zvýšení hladiny toku.



Obrázek 6.1 – Lokální ucpávka toku v úseku č. 2

6.1.3 Úsek č. 3

Úsek č. 3 prochází intravilánem obce Želešice a je nejvýrazněji postižen lidskou činností. Nachází se zde nejvíce objektů na toku – mosty, lávky, spádový stupeň, které představují riziko při průchodu povodňových průtoků. Ideální přírodě blízký stav nesplňují ani ŽB polovegetační tvárnice použité pro stabilizaci svahu místně s kamennou rovnaninou. Dle monitoringu HEM úsek č. 3 dopadl nejhůře ze všech dílčích úseků.

Zaplevelení koryta v dolní části úseku je z celé zájmové lokality nejmenší, dochází zde také k pravidelnému čištění koryta. Horní část úseku už se vrací zpět k více přírodnímu charakteru toku a velkému obsahu nežádoucí vegetace v korytě toku.

6.2 PRŮBĚH HLADIN, ROZLIVY, KAPACITA KORYTA

Výsledky výpočtů výšek hladin a určení kapacity povodňových průtoků lze nalézt v kapitole 4.2. Zakreslení výšek hladin průtoků se nachází v příloze B5 – Přehledný podélný profil toku. Výsledky určení kapacity koryta toku jsou zobrazeny v přílohách B3, B4 – Situace kapacity koryta č. 1, č. 2. Rozlivy povodňových průtoků Q_5 , Q_{20} , Q_{100} v zájmové lokalitě jsou znázorněny v přílohách B8, B9 – Situace rozlivů č. 1, č. 2. Přílohy B8 a B9 byly vytvořeny na základě výpočtů výšky hladin povodňových průtoků v zaměřených profilech a mapového podkladu s rastrem vrstevnic ve výškové vzdálenosti 2 m. Při vytváření příloh jsem zohlednil poznatky z osobní pochůzky, která odhalila jemné nuance v členění terénu, jež nejsou obsaženy v mapovém podkladu.

V následujících kapitolách 6.2.1, 6.2.2, 6.2.3 shrnu důležité poznatky ohledně průběhů hladin, rozlivů, protipovodňové ochrany dílčích úseků č. 1,2,3, ke kterým jsem v průběhu řešení diplomové práce dospěl. Kapitola 6.2.4 bude pojednávat o kapacitě mostů a lávek v celé zájmové lokalitě.

6.2.1 Úsek č. 1

V úseku č. 1 se nachází jediná protipovodňová úprava v celé zájmové lokalitě, a to od ř. km 1,832 do ř. km 1,964. Jedná se o ochranné hráze na obou březích koryta toku. Dle zjištěné kapacity koryta toku je tento úsek kapacitní na průtok $Q_{100} = 45,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Paradoxně ovšem PPO nedokáže ochránit průmyslový areál v levé inundaci toku, kvůli tomu, že velká část úseku č. 1, která kolem areálu prochází má kapacitu pouze $Q_2 = 7,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Dále areál zaplaví z téměř celé západní strany i objem vody vybřežený již v úseku č. 2, v následku umístění areálu v lokální terénní depresi. Areál není nijak proti objemu vody z úseku č. 2 chráněn.

6.2.2 Úsek č. 2

Úsek č. 2 je v rámci kapacity koryta toku zajímavý. Od dolní části úseku kapacita koryta toku vzrůstá od $Q_2 = 7,8 \text{ m}^3/\text{s}$ až ke $Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$, jedná se o projev postupného sestupu koryta toku Bobravy do nížinné oblasti údolní nivy řeky Svratky. Jak již bylo zmíněno, objem vody, který opustí v úseku č. 2 koryto toku na levém břehu toku Bobrava

se přes rovinné zemědělské plochy dostane až k průmyslovému areálu v úseku č. 1. Zemědělsko-průmyslový areál popsáný v kapitole 2.6 zasáhne dle výpočtů kapacity koryta a v rámci rozlivů vizualizovaných v příloze B8 – Situace kapacity koryta č. 1 povodňový průtok $Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Zmíněný areál není proti povodňovým průtokům nijak chráněn.

6.2.3 Úsek č. 3

Překvapivým výsledkem je zjištění, že úsek č. 3, který se nachází v intravilánu obce Želešice, je v cca 85 % kapacitní na povodňový průtok $Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Menší kapacitu koryta toku jsem zjistil pouze ve dvou částech úseku č. 2, přesněji od ř. km 4,000 do ř. km 4,244 a dále od ř. km 4,910 do ř. km 5,050. V první části je ohrožena lokalita, ve které se v těsné blízkosti pravého břehu nachází stavby RD, louka a zahrádky. V druhé části úseku je ohroženo v levé příbřežní zóně několik staveb RD v oddělené zástavbě. Výslednému zjištění odpovídá vizualizace rozlivů v příloze B9 – Situace kapacity koryta č. 2.

6.2.4 Mosty a lávky

V celé zájmové lokalitě se nachází dva mosty M1 a M2, popsané v kapitole 3.6.3. Lávky pro pěší jsou zastoupeny v hojnějším počtu. Lávka L1 je podrobněji popsána v kapitole 3.4.3, lávky L2, L3 a L4 v kapitole 3.6.3.

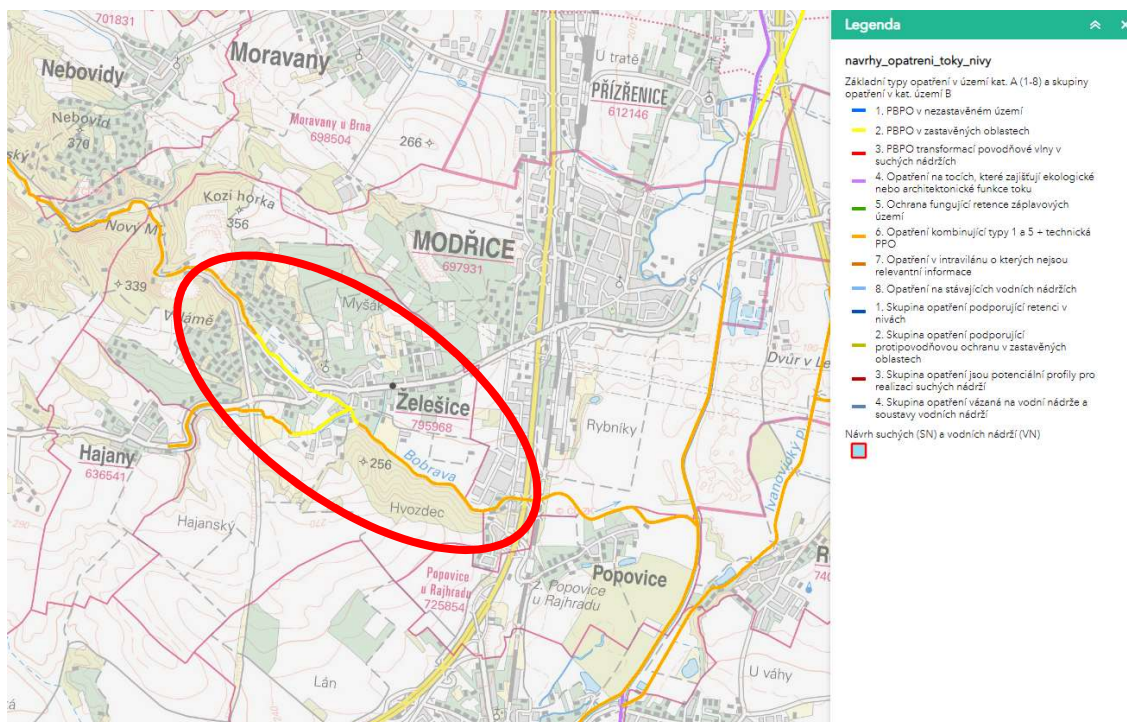
V kapitole 7.2 – Návrhový průtok, byl stanoven návrhový průtok pro ochranu obce Želešice na průtok $Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Posouzení mostů a lávek jsem provedl pro tento průtok a výsledky jsou zobrazeny v následující Tabulce 6.1. Pouze u dvou objektů dojde ke vzdutí hladiny mostovkou a ani jedna mostovka u zmíněných objektů není přelita návrhovým průtokem $Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabulka 6.1 – Vzdutí a přelití mostovky, průtok Q_{20}

Objekt	Umístění objektu	Dolní hrana mostovky	Horní hrana mostovky	Výška hladiny před mostovkou	Vzdutí hladiny mostovkou	Přelití mostovky
[–]	[ř. km]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
L1	1.964	196.55	196.95	196.02	NE	NE
M1	3.916	201.42	202.42	201.93	ANO	NE
M2	4.276	202.79	203.99	203.08	ANO	NE
L2	4.284	203.69	203.99	203.09	NE	NE
L3	4.551	203.98	204.28	203.69	NE	NE
L4	4.868	205.76	206.06	205.34	NE	NE

7 IDEOVÝ NÁVRH PŘÍRODĚ BLÍZKÝCH OPATŘENÍ A ZLEPŠENÍ SOUČASNÉHO STAVU VODÍHO TOKU BOBRAVA

V rámci řešení diplomové práce je také úkolem navrhnout ideové přírodě blízké protipovodňové opatření a opatření pro zlepšení současného stavu koryta dle metodiky HEM. Na portálu Voda v krajině [15] je k nahlédnutí mapový podklad s doporučenými druhy řešení protipovodňového opatření – PPO, na vodních tocích a nivách, pro území celé České republiky.



Obrázek 7.1 – Mapa doporučených druhů PPO na vodních tocích a nivách [15]

V mapovém podkladu jsou pro řešenou lokalitu v ř. km 1,832 až ř. km 5,743 toku Bobrava, vyznačenou v Obrázku 7.1, doporučeny dva druhy protipovodňových opatření. Kategorie č. 2 a kategorie č. 6. Kategorie č. 2 se nachází v intravilánu obce Želešice a jedná se o přírodě blízká protipovodňová opatření – PBPO v zastavěném území. Kategorie č. 6. je v zájmové lokalitě doporučena v části toku mimo intravilán obce. Jedná se o kombinaci PBPO v nezastavěném území a ochranu fungující retence záplavových území doplněnou o možnost užití technických PPO.

Rozhraní kategorií č. 2 a č. 6 v místě, kde tok Bobrava opouští intravilán obce Želešice, přibližně odpovídá místu, kde je ukončen dílčí úsek č. 2 a začíná dílčí úsek č. 3. Zvolená pozice přechodu dílčích úseků a rozhraní kategorií, dle mapového podkladu, vychází z výrazné transformace morfologie koryta toku v tomto místě a ze změny typu přilehlého území. Zemědělsko-lesnický využívaný území se zde přeměňuje na území výrazně urbanizovaného typu.

7.1 PŘÍRODĚ BLÍZKÉ PROTIPOVODŇOVÉ OPATŘENÍ

7.1.1 Úvod a pojmy

V první řadě je třeba si uvědomit, že pojem přírodě blízké protipovodňové opatření není nijak striktně vymezen. Není chybou užít i takové termíny jako protipovodňová revitalizace, přírodě blízká úprava toku, ekologické opatření atd. Všechny zmíněné termíny za sebou skrývají spíše důležitou myšlenku nežli přesnou definici. Jedná se o pojmenování procesu úprav, postupů, principů řešení, jejichž účely a výsledky mohou být různé, ale větší či menší mírou kombinují cíle zlepšení ekologických podmínek s aspekty protipovodňové ochrany obyvatelstva a jeho majetku.

7.1.2 Revitalizace vodních toků

V rámci PBPO se často zmiňuje i termín revitalizace vodních toků. Jak již bylo řečeno výše, význam termínů není jasně definován a může snadno splývat, proto zde uvedu, jakým způsobem je na termín pohlíženo v dokumentu s názvem: Přírodě blízké úpravy vodních toků v intravilánech a jejich význam v ochraně před povodněmi. Revitalizace sídelního prostředí vodními prvky (Just, 2010).

Revitalizace vodních toků – vodohospodářská činnost směřující k obnově přirozených tvarů a funkcí vodních toků a jejich niv. Rozmanitými způsoby je při revitalizacích obnovován prostorový rozsah vodních toků, jejich tvarová a hydraulická členitost, rozsah přirozeně zaplavitelných území. V organizačním smyslu dnes pojmu revitalizace používáme hlavně jako investiční opatření tohoto směru. [15]

7.1.3 Ekologická funkce a rekreační hodnota vodního toku

V dnešní době se již na funkce vodního toku nahlíží jiným způsobem, nežli tomu bylo v minulém století. Zdokonalily se představy o možnostech a potřebách protipovodňové ochrany obyvatelstva, ale zároveň se rozšířilo i obecné povědomí o ekologické funkci vodního toku jako takového. Současným trendem je snaha dosáhnout takového stavu vodního toku, kdy i v zastavěných územích může mít dostatečnou povodňovou průtočnou kapacitu a zároveň plnit svojí ekologickou funkci. V závislosti na ekologické funkci lze i pro obyvatelstvo zvyšovat rekreační hodnotu okolí vodního toku.

7.2 NÁVRHOVÝ PRŮTOK

Stanovení návrhového průtoku bylo provedeno dle Plánu hlavních povodí České republiky [16], který byl schválen usnesením vlády ČR dne 23. května 2007 č. 562 a také dle normy TNV 75 2103 [17]. Pro zájmovou lokalitu, která se nejvíce blíží kategorii – rozptýlená obytná a průmyslová zástavba a souvislá chatová zástavba, byl stanoven návrhový průtok jako $Q_N = Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pouze pro průmyslový areál zmíněný v kapitole 2.8, v dílčím úseku č. 1, byl dle [16] a [17] stanoven odlišný návrhový průtok $Q_N = Q_{50} = 35,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

7.3 VEGETAČNÍ DOPROVOD

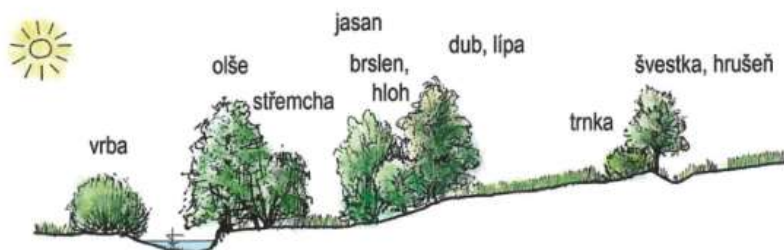
Jelikož se v zájmové lokalitě vyskytuje jak v korytě toku, tak v příbřežní zóně velké množství vegetace, z hlediska hodnocení metodiky HEM je minimálně potřeba druhovou pestrost dodržet i po provedení protipovodňových úprav. Také v místech, kde se se nachází nevhodná či málo rozmanitá vegetace, bude tento stav vhodným způsobem napraven.

Na březích svahů je navržena směs trav s hlubším drnem odolávající více erozní činnosti. Směs se skládá z lipnice luční (*Poa pratensis*), kostřavy červené výběžkaté (*Festuca rubra rubra*) a trsnaté (*Festuca rubra commutata*), a jílku vytrvalého (*Lolium perenne*) v poměru uvedeném v Tabulce č. 7.1.

Tabulka 7.1 – Travní směs pro osetí svahů koryta toku

Travní směs s protierozním účinkem	
Druh	% zastoupení
Lipnice luční	40
Kostřava červená výběžkatá	25
Kostřava červená trsnatá	15
Jílek vytrvalý	20

Ve stromovém patře navrženém k doprovodu koryta v příbřežní zóně toku a osázení přírodních ochranných valů můžeme najít zástupce: topol osika (*Populus tremula*), javor babyka (*Acer campestre*), dub letní (*Quercus robur*), olše lepkavá (*Alnus glutinosa*), břiza bílá (*Betula pendula*) nebo javor mleč (*Acer platanoides*).



Obrázek 7.2 – Schéma druhového složení břehového a doprovodného porostu [15]

7.4 NÁVRH VARIANT

Nedílnou součástí mé diplomové práce je i ideový návrh na zvýšení ochrany přilehlého území a zlepšení stavu vodního toku dle metodiky HEM. Sumarizací všech dosavadních zjištění, dostupných podkladů a informací jsem dospěl k názoru, že je vhodné ideový návrh PPO a PBPO v zájmové lokalitě rozdělit na dvě varianty – Variantu A a Variantu B. Musím dodat, že rozdělení není zcela plnohodnotné, protože Varianta B vychází z Varianty A a je jejím rozšířením. V návaznosti na tuto skutečnost jsou přílohy: C1 – Přehledná situace navržených opatření č. 1, C2 – Přehledná situace navržených opatření č. 2 a C3 – Podrobný podélný profil toku s navrženými opatřeními, vypracovány pro obě varianty společně a přiřazeny k Variantě A.

7.5 VARIANTA A

Varianta A se skládá z celkem 10 stavebních objektů, jež jsou spolu provázány. Stavební objekty (SO) jsou rozděleny dle návaznosti na dílčí úpravy tvaru koryta toku Bobrava. Ve variantě A jsem na základě výsledků hydrotechnických výpočtů určil tři problémová místa, kde jsem následně navrhl jak přírodě blízkou protipovodňovou ochranu, tak kvůli nedostatku místa v okolí toku a pozemkovým poměrům také protipovodňovou ochranu technického charakteru.

7.5.1 SO1 – Úprava dna koryta toku

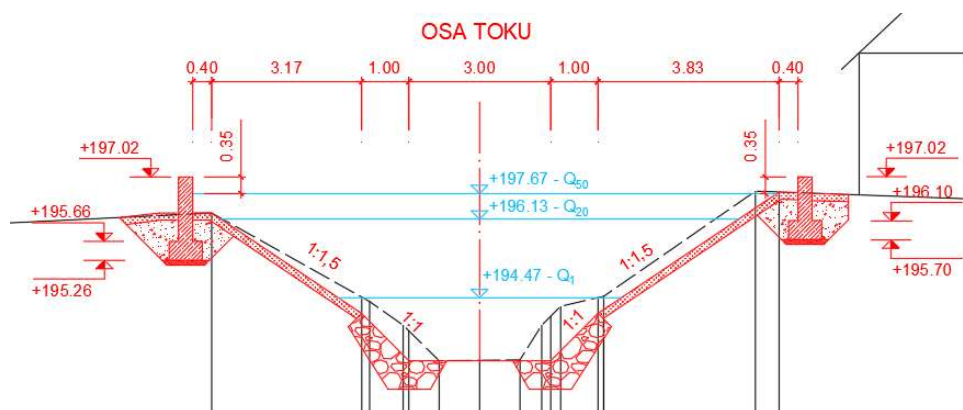
V řešeném dílčím úseku č. 1 se pod lávkou pro pěší L1 od ř.km 1,872 až do ř.km 1,978 nachází dle zaměření velké nerovnosti v niveletě dna. V mostním profilu lávky je niveleta dna díky nánosům výše, než v nejbližším okolí a tato nerovnost zmenšuje kapacitu mostního profilu. Následně se snadněji protékající voda dostane do tlakového režimu proudění a vzniká protiproudění vzduť hladiny mostovkou.

Úprava dna koryta je navázána na SO2 – Úprava koryta v ř. km 1.978-2.496, kde se také počítá se změnou nivelety dna. V celém délce od ř. km 1,872 až do ř. km 2,496 je tedy uvažován sklon nové nivelety dna $i = 3,17 \text{ ‰}$.

7.5.2 SO2 – Úprava tvaru koryta toku

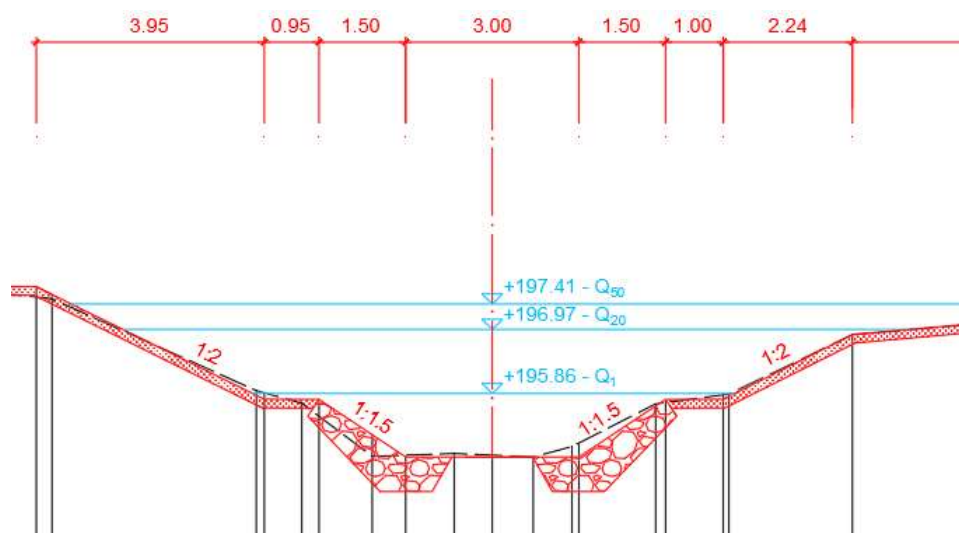
Celý stavební objekt SO2 – Úprava tvaru koryta toku a následně a něj navázané stavební objekty SO3, SO4, SO5 jsem navrhl na rozdíl od dalších dvou dílčích úprav tvaru koryta toku (SO6, SO9), na návrhový průtok $Q_{50} = 35,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Tato skutečnost je zapříčiněna lokací průmyslového areálu popsaného v kapitole 2.8 v inundačním území.

Tvar koryta a niveleta dna budou pozměněny v úseku od ř. km 1,978 do 2,496. Kvůli stísněnému prostoru a pozemkovým poměrům v okolí koryta toku je nutné užít dvou tvarů příčného profilu. V ř. km 1,978-2,245 se koryto nachází v úzkém pásu mezi obytnou zástavbou a průmyslovým areálem. Zde není možno nijak osu toku měnit ani tvarovat. Do koryta toku jsem osadil tvar příčného profilu A viz Obrázek 7.3. V příčném profilu A se nacházejí svahy se sklonem 1:1,5, které kvůli svému velkému sklonu musí být do doby zakořenění travního osevu stabilizovány kokosovou sítí.



Obrázek 7.3 – Tvar příčného profilu A

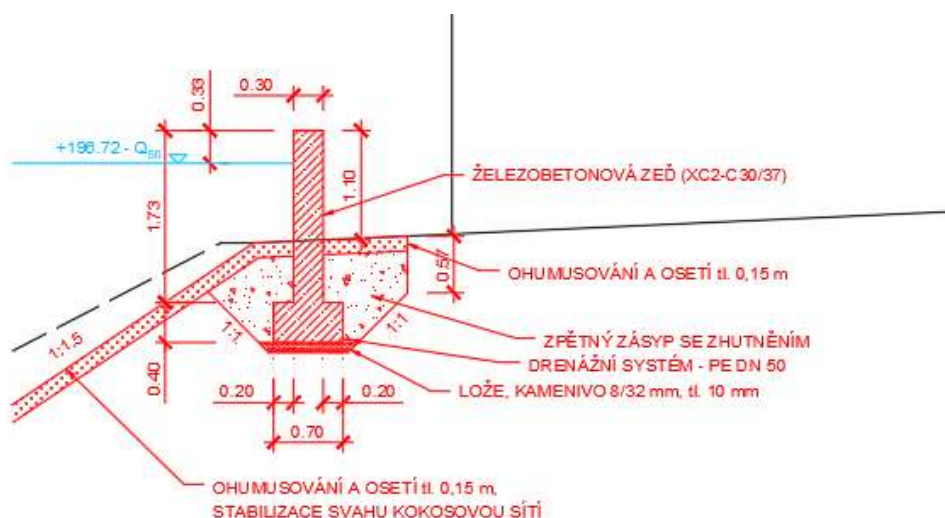
V ř. km 2,245-2,496 má přirozeně koryto toku větší šířku, navrhl jsem zde tedy tvar příčného profilu B, v půdoryse se zvlněnou kynetou. V příčném profilu B jsou již svahy ve sklonu 1:2, není třeba zde stabilizovat svah kokosovou sítí. V obou případech je použita ke stabilizaci svahu kamenná záhozová patka o hmotnosti 80-200 kg a svahy budou ohumusovány a osety travní směsí viz Tabulka 7.1. Podrobné zobrazení a popis tvaru příčného profilu A a B se nachází v přílohách C6-C9.



Obrázek 7.4 – Tvar příčného profilu B

7.5.3 SO3 – PB železobetonová ochranná zeď

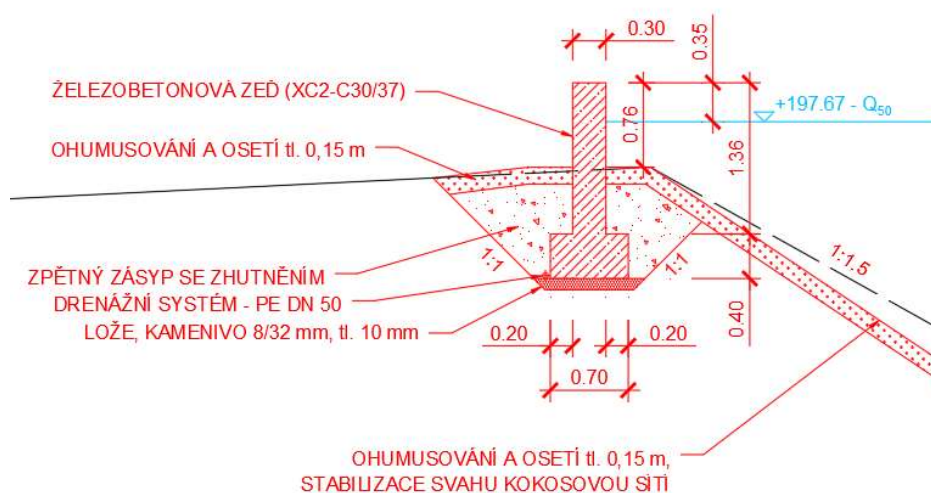
Na pravém břehu koryta toku se v jeho těsné blízkosti v ř. km 1,900-2,100 nachází obytná zástavba. V rámci prostoru, ve kterém musí koryto toku fungovat, nepřipadala v úvahu jiná protipovodňová ochrana než železobetonová zeď. V návrhu jsem umístil od ř. km 1,964 do ř. km 2,091 ochrannou ŽB zeď o šířce 0,3 m a proměnné výšce v závislosti na výšce terénu pravého břehu. Na stavbu navržené ochranné zdi bude použit voděodolný beton (XC2-C30/37). Podrobné zobrazení a popis tvaru PB ochranné zdi se nachází v přílohách C6-C8.



Obrázek 7.5 – Řez PB ochrannou zdí

7.5.4 SO4 – LB železobetonová ochranná zeď

Na levém břehu koryta toku se v sousedství koryta v celém dílčím úseku č. 1 nachází rozlehlý průmyslový areál. Velká část areálu není nijak chráněna proti povodňovým průtokům a všechny pozemky, které sousedí s korytem toku jsou ve vlastnictví majitele průmyslového areálu. S přihlédnutím k současnému stavu zde nebylo jiného východiska, než navrhnout stejnou ochrannou ŽB zeď o šířce 0,3 m i na levém břehu. Podrobné zobrazení a popis tvaru LB ochranné zdi se nachází v přílohách C6-C8.

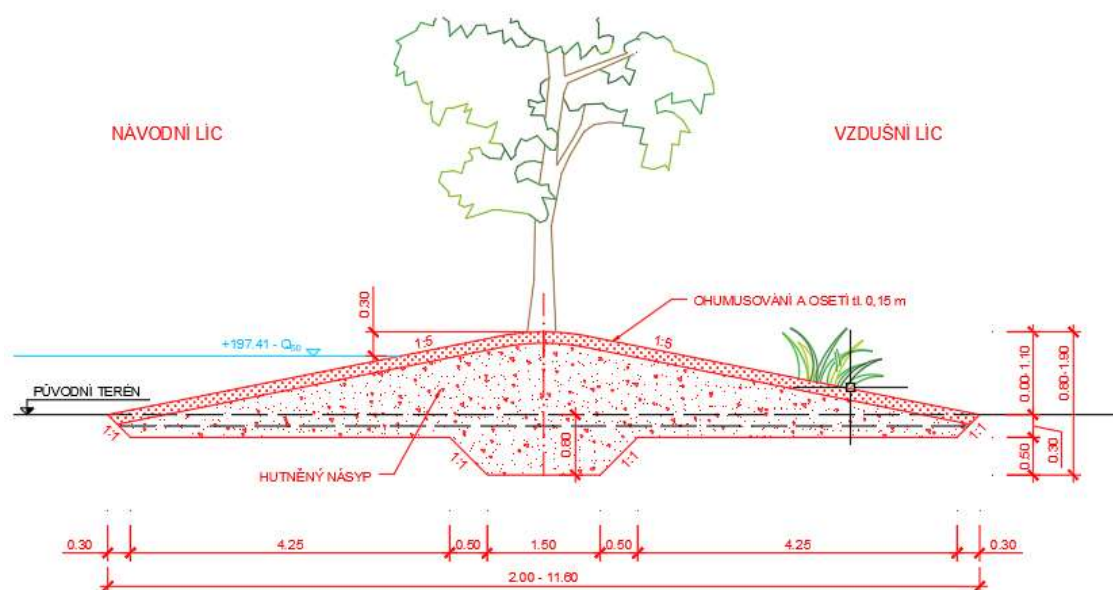


Obrázek 7.6 – Řez LB ochrannou zdí

7.5.5 SO5 – LB přírodní ochranný val

Jelikož se již zmíněný průmyslový areál nachází v lokální depresi, kam dosahují rozlivy jak Q_{20} , tak Q_{100} . Bylo třeba navrhnout nejenom protipovodňovou ochranu z jižní strany v blízkosti koryta toku, ale také ze strany západní, odkud se ze zemědělsky využívaných ploch do areálu dostává objem vody vybřežený již v dílčím úseku č. 2. Tomuto účelu skvěle poslouží přírodní ochranný val, který jsem navrhl přímo na pozemcích obce Želešice v bezprostřední blízkosti průmyslového areálu. Přírodní val je z hlediska přírodě blízkého protipovodňového opatření mnohem bližší přirozenému stavu než ochranná hráz, z důvodu, že přírodní val je možné osázet i keřovým a stromovým patrem vegetace.

Navržený ochranný val se nachází téměř kolmo k ose toku v ř. km 2,496. Jedná se o jednoduché zemní těleso přibližně ve tvaru trojúhelníku s se sklonem vzdušného a návodního líce 1:5. Díky mírnému sklonu není pro různá patra a druhy vegetace problém se udržet na svazích. V těsné blízkosti ochranného valu je v místě, kde zaústíje do levého břehu umístěn propustek se zpětnou klapkou pro odvádění vod vybřežených na zemědělské plochy v dílčím úseku č. 2 zpět do koryta toku. Vybudováním ochranného valu by se díky reliéfu inundace při povodňovém průtoku stala ze zemědělských ploch rozlehlá bezodtoková oblast. Podrobné zobrazení a popis tvaru přírodního ochranného valu se nachází v příloze C9.

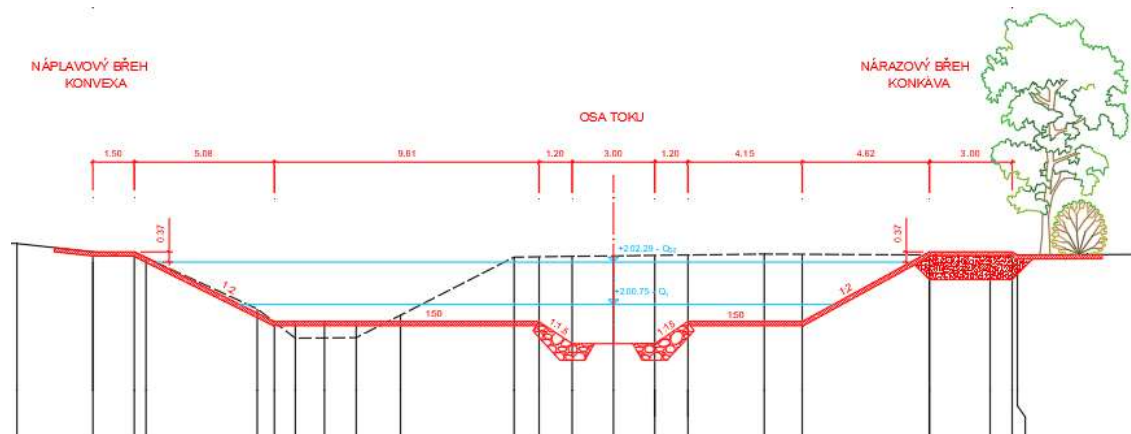


Obrázek 7.7 – Řez LB ochranným valem

7.5.6 SO6 a SO7 – Úprava tvaru koryta toku, pravého břehu

Druhým problémovým místem, které jsem na základě výpočtů kapacity koryta toku určil, je úsek od ř. km 3,992 do ř. km 4,186. Zde pravý břeh není kapacitní na stanovený návrhový průtok $Q_N = Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Protékající voda se v tomto místě rozlije na přilehlý pás louky a zasáhne několik rodinných domů společně se zahradami. Dle katastrální mapy obce Želešice jsou pozemky ležící podél břehové čáry ve vlastnictví obce, takže bylo možné uvažovat jejich využití.

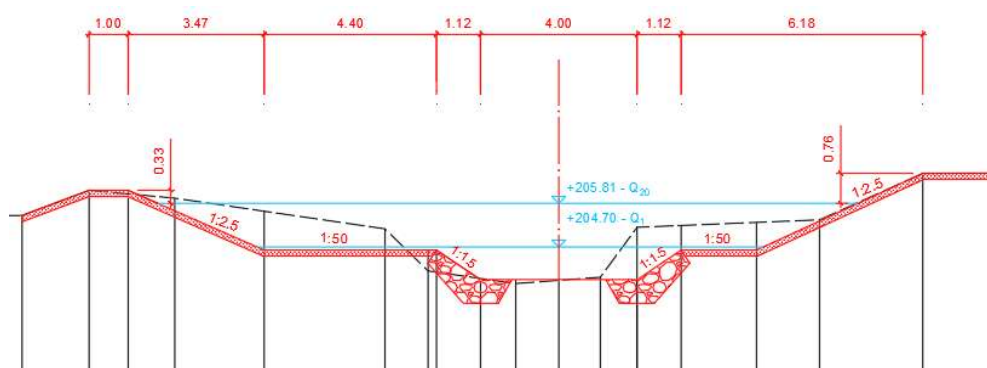
Prostor pro využití obecních pozemků se nachází od ř. km 4,046 do ř. km 4,158. Navrhl jsem v daném prostoru lokální rozšíření koryta toku se zvlněnou kynetou a pravobřežní ochrannou hrází doplněnou keřovým a stromovým doprovodem na pravé straně hráze. Nadmořská výška hráze byla navržena, tak jako všechny úpravy, na přepočtené výšky hladin návrhového průtoku, po změně v geometrických datech v 1D modelu. Zvýšení terénu na pravém břehu se propaguje i mimo úpravu koryta toku, v délce 194,0 m od ř. km 3,992 do ř. km 4,186. Vizualizace v přílohách C10 a C11.



Obrázek 7.8 – Příčný profil úpravy toku v ř. km 4,046-4,158

7.5.7 SO8 – Úprava tvaru koryta toku

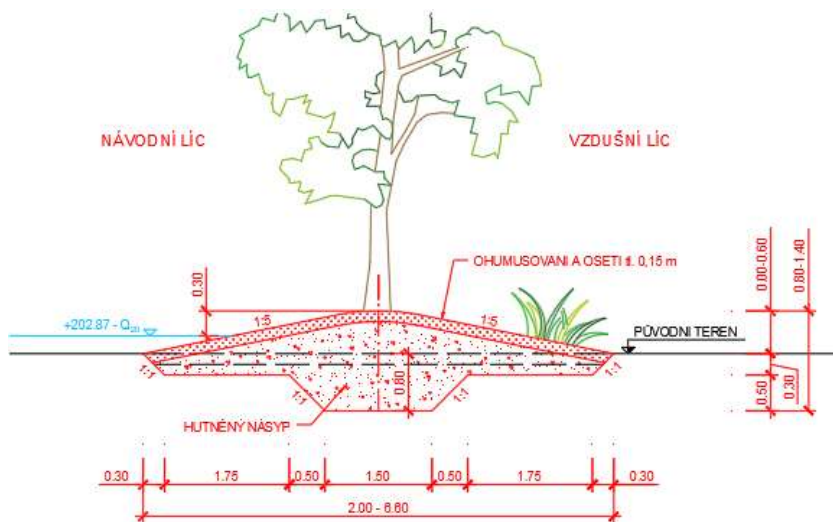
Třetí problémové místo jsem určil v ř. km 4,873-5,020. Nachází se zde málo kapacitní koryto, značně zarostlé vegetací, které v ř. km 5,020 opouští lužní les. Návrhový průtok se vybřeží v profilu 45 v ř. km 4,967 a zasáhne sousedící oddělenou obytnou zástavbu na levém břehu. Můj návrh spočívá v pročištění koryta a úpravu tvaru příčného profilu v celé délce úseku (ř. km 4,873-5,020). Dle geometrických a mapových podkladů se zde nachází i místo pro částečné zvlnění kynety nově zbudované kynety toku. Po zanesení úpravy koryta toku do 1D modelu jsem dospěl k závěru, že není potřeba v příčném profilu č. 45 zvyšovat výšku levého břehu. Pro bezpečné provedení návrhového průtoku se díky úpravě stačí navázat na stávající výšku levého břehu. Vizualizace S08 a S09 lze nalézt v přílohách C12, C13 a C14.



Obrázek 7.9 – Příčný profil č. 45

7.5.8 SO9 – LB přírodní ochranný val

Rozliv návrhového průtoku $Q_N = Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$ se v ř. km 5,020 z lužního lesa propaguje v levé inundaci na luční pozemky a dále přes oddělenou oblast obytné zástavby na levém břehu se vrací zpět do koryta toku. Pro ochranu obytné zástavby navrhuji v ř. km 5,020 ochranný val kolmý k ose toku, stejného typu jako v kapitole 7.5.5. Podrobné zobrazení a popis tvaru přírodního ochranného valu se nachází v příloze C14.



Obrázek 7.10 – LB ochranný val v ř. km 5,020

7.5.9 SO10 – Odstranění jezové konstrukce

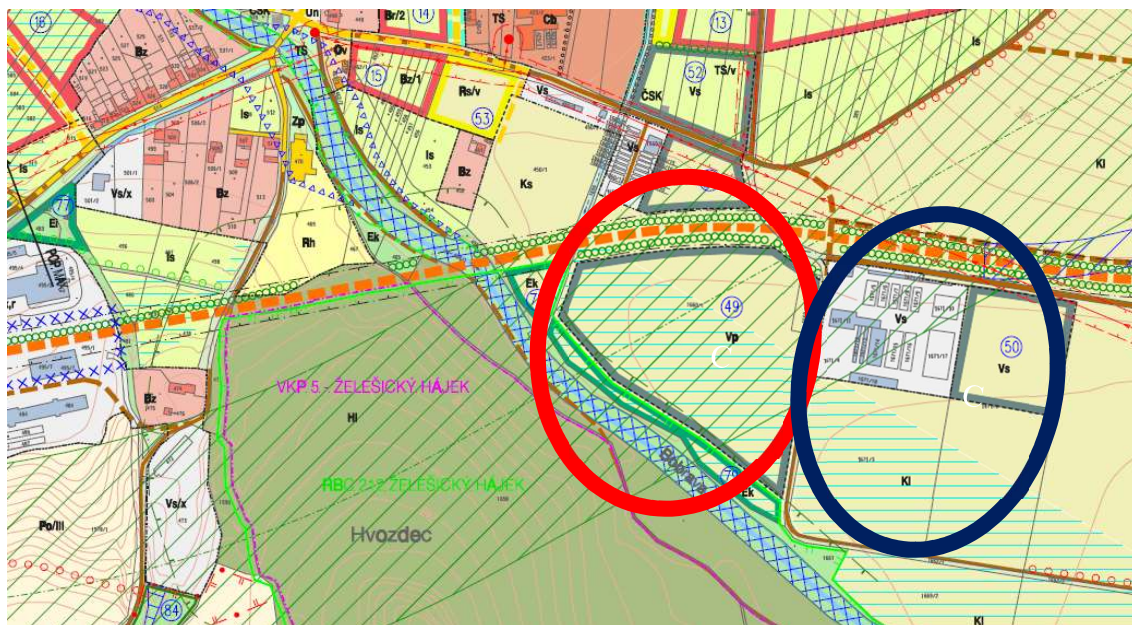
V kapitole 3.6.6. jsem podrobně popsal podstatnou překážku v toku. Jedná se o bývalou konstrukci jezu v ř. km 5,391 k účelu zásobování mlýnského náhonu. Obě stavby jsou dnes již nefunkční a představují při povodni nebezpečí. Při zvýšených průtocích se zvedá na jezové konstrukci výška hladiny vody a přes nefunkční stavidla se voda vlije do mlýnského náhonu, odkud se pak rozlévá na zemědělské plochy.

Navrhuji úplné odstranění jezové konstrukce a zasypání vtoku do bývalého mlýnského náhonu vytěženou zeminou do výšky 0,3 m nad vypočtenou hladinu návrhového průtoku $Q_N = Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

7.6 VARIANTA B

Varianta B, jak již bylo řečeno je rozšířením Varianty A. Varianta B přejímá všechny výše zmíněné úpravy tvaru koryta a návrhy ochranných hrází, zdí a valů z důvodu uchování prvotního smyslu návrhu PPO a PBPO. Ve Variantě B jsou zahrnuty informace a důležitá zjištění vycházející z územního plánu obce Želešice. Jen zdůrazním, že v územním plánu obce jsou rozlivy stanoveny pouze odborným odhadem dle Povodí Moravy, s.p., neznámo, na jaký návrhový průtok.

První zásadní informací je z územního plánu je fakt, že na území, které bude dle mých výpočtů zatopeno návrhovým průtokem $Q_N = Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$ je v územním plánu výhledově navrženo území pro průmyslovou výrobu (vyznačeno červeně). Území těsně sousedí se zemědělsko-průmyslovým areálem (vyznačen tmavě modře) již zmiňovaným v kapitole 2.6 a 6.2.2. Kvůli zřejmé nákladnosti, absenci pozemků v obecním vlastnictví a poměru vynaložených financí, vůči zamezeným škodám, není ve Variantě A areál nijak ochráněn proti návrhovému průtoku Q_{20} . Varianta B uvažuje spojení PPO obou území do jednoho celku čímž by došlo ke snížení zmíněné poměru.

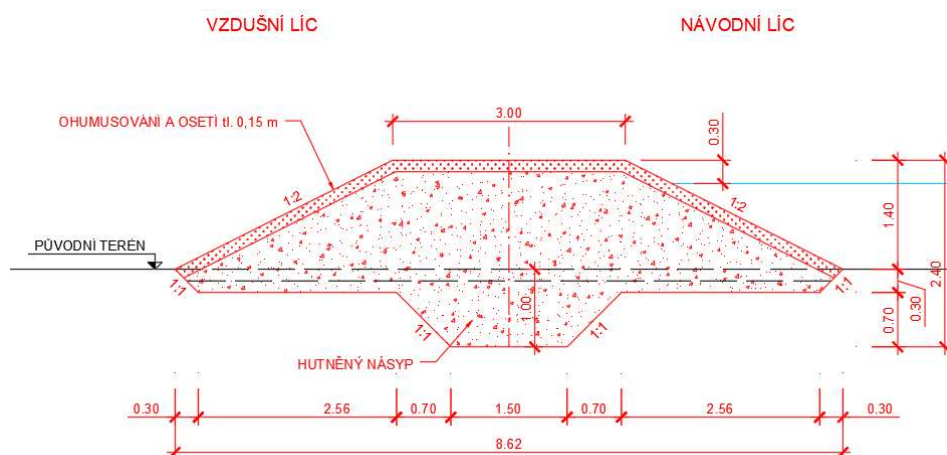


Obrázek 7.11 – Grafická část územního plánu obce Želešice [8]

Dalším zajímavým zjištěním je, že v územním plánu je v ř. km 4,590 v těsné blízkosti spádového stupně navržena, dle legendy územního plánu, nádrž ekologická – retenční. Tuto informaci jsem zpracoval do Varianty B pod pojmem rekreační zóna.

7.6.1 SO11 – LB ochranná hráz

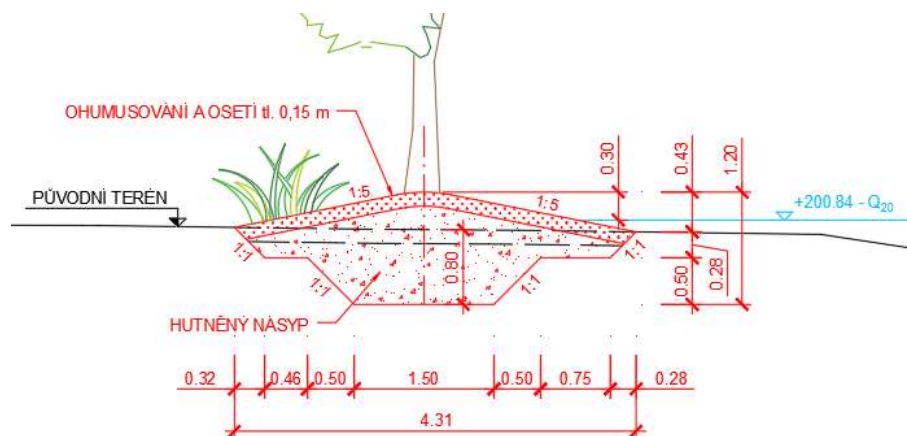
Jedná se o PPO v ř. km 3,209-3,298, kde se postupně vzdaluje od koryta toku a v ř. km 3,209 ochranná hráz pokračuj kolmo od osy toku až k vyrovnaní terénu. Ochranná hráz byla záměrně zvolena kvůli problému velké mohutnosti stavby, v rámci potřebné výšky koruny a morfologie terénu v levé inundaci toku. Ochranný val by v tomto úseku nabyl nerealizovatelných rozměrů. Podrobné zobrazení a popis tvaru ochranné hráze se nachází v příloze D3 a D4.



Obrázek 7.12 – Řez LB ochrannou hrází v ř. km 3,298

7.6.2 SO12 – LB přírodní ochranný val

Pro ochranu obou areálů v ř. km 3,298-3,563 navrhuji ochranný val, stejného typu jako v kapitole 7.5.5 a 7.5.8, který plynule v ř. km 3,298 přechází v ochrannou hráz. Jedná se o PBPO v ř. km 3,298-3,563, kde se vine podél koryta toku a v ř. km 3,563 uhybá kolmo od osy koryta podél strouhy přivedené přes obec Želešice z polí nad obcí. Podrobné zobrazení a popis tvaru přírodního ochranného valu se nachází v příloze D5 a D6.



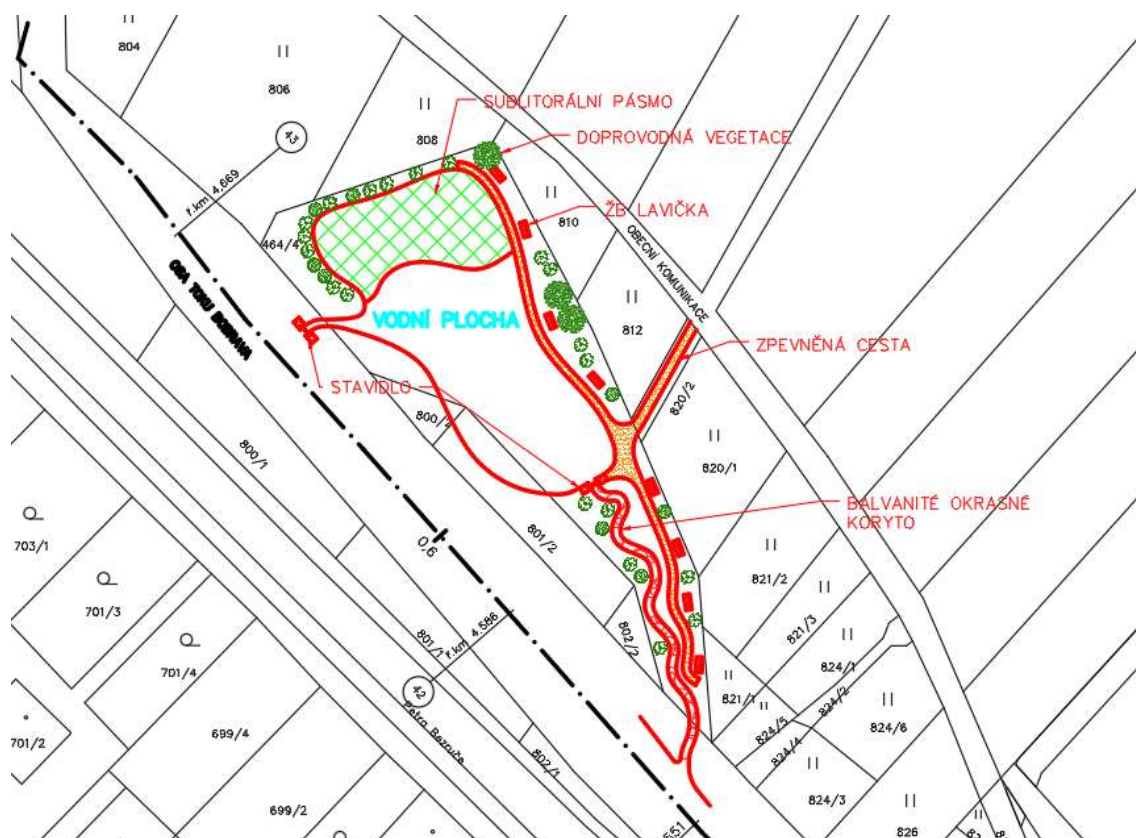
Obrázek 7.13 – Řez LB ochranným valem

7.6.3 SO13 – Rekreační zóna

V ř. km 4,590 v bezprostřední blízkosti spádového stupně jsem dle zjištění z územního plánu obce Želešice navrhl rekreační zónu s vodní plochou. Zvolené umístění je výhodné, protože se v dané lokalitě nachází mnoho obecních pozemků a lze je využít. Navrhl jsem zde okrasnou nádrž s ekologickou a rekreační funkcí v rámci trendu, navracení rekreace obyvatel k vodnímu toku.

Jedná se o nádrž s přítokem a odtokem hrazeným mobilními stavidly, přičemž odtok z nádrže je vyřešen jako přepad přes stavidlo do balvanitého okrasného koryta, které průtok vody opět vrací zpět do koryta toku Bobravy. Nádrž bude z menší části obsahovat zvýšené dno, kde se bude vyskytovat sublitorální pásma s typickými zástupci vodní vegetace: puškvorec obecný (*Acorus calamus*), ostrice štíhlá (*Carex gracilis*), rákos obecný (*Phragmites communis*).

Část okolí vodní plochy a okrasného balvanitého koryta bude lemována zpevněnou cestou s přidruženými ŽB lavičkami. Příbřežní pásma bude osázeno keřovým a stromovým patrem. Nádrž nebude sloužit jako rybí přechod, i když to její poloha nabízí. Vedlejší spádový stupeň se nachází v celkem dobrém stavu, a zájmová lokalita se nachází v mimopstruhovém revíru, takže jsem se rozhodl nechat návrh rybího přechodu až společně s rekonstrukcí spádového stupně v ř. km 4,586.



Obrázek 7.14 – Rekreační zóna

7.7 MOSTY A LÁVKY

Na základě hydrotechnických výpočtů v kapitole 6.2.4 výšku hladiny ovlivňují vzdutím od mostovky pouze mosty M1 a M2. K přelití mostovky nedošlo ani v jednom případě. V rámci Varianty A a B byl změněn tvar koryta a v následku již ani most M2 neovlivňuje výšku hladiny návrhového průtoku $Q_N = Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$ svojí mostovkou. Sumarizací dat a informací jsem došel k závěru, že není třeba zvedat ani jednu mostovku.

7.8 KOLIZE SE STÁVAJÍCÍ VEGETACÍ

V případě kolize navrženého protipovodňového opatření a stávajícího vegetačního doprovodu, je nutné tyto stromy a keře vykácet či přesadit a po dokončení stavebních prací je opětovně vysázet tak, aby nebyl narušen ráz a funkčnost krajiny.

7.9 DOPLŇKOVÉ PŘÍČNÉ PROFILY

Z důvodu upřesnění 1D modelu a přesnějšího vykreslení navržených úprav jsem v programu HEC-RAS pomocí funkce interpolace vytvořil doplňkové příčné profily k již naměřeným příčným profilům. Jedná se o příčné profily 24a, 27a, 28a, 28b, 34a, 44a, 45a. Detail umístění doplňkových příčných profilů je červeně zakreslen v přílohách C1 a C2.

7.10 ANALÝZA PRŮBĚHU HLADINY PO NAVRŽENÍ PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANY

Pro analýzu průběhu hladiny po navržení úprav koryta (Varianta A a Varianta B, popsány v kapitole 7.5 a 7.6) v rámci protipovodňových opatření jsem provedl změny v geometrických datech. Změněny byly příčné profily v úseku navrhovaných úprav ze skutečného stavu do stavu souhlasného s návrhovým. Manningův součinitel drsnosti n byl vždy pozměněn přímo dle navržené úpravy koryta. Analýza byla provedena na návrhový průtok $Q_N = Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$ v lokalitě od ř. km 2,481 do ř. km 5,743 a na $Q_N = Q_{50} = 35,5 \text{ m}^3/\text{s}$ od ř. km 1,832 do ř. km 2,481. Okrajové podmínky zůstaly nezměněny. Výsledky analýzy zobrazuje Tabulka 7.2 a 7.3.

Z výsledných tabulek 7.2. a 7.3. je patrné vybřežení v úseku od ř. km 2,724 do ř. km 3,598 při průtoku Q_{20} . Výsledek není chybou, jedná se o neupravený dílčí úsek č. 2, ve kterém se s rozlivem počítá a dle mapového podkladu z portálu Voda v krajině [15] úsek plní podmínku fungující retence záplavových území. Dále je patrné, že kvůli použití funkce (*Ineffective flow areas*) v programu HEC-RAS se výsledky průběhu hladin Varianty A a Varianty B od sebe nijak neliší, protože opatření navržené ve Variantě B nijak nezasahují přímo do koryta toku Bobrava.

Tabulka 7.2 – Analýza průběhu hladin – Varianta A

VARIANTA A - $Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{50} = 35,5 \text{ m}^3/\text{s}$							
Staničení	Posuzovaný návrhový průtok	Výšková kóta dna	Výšková kóta hladiny	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení levého břehu	Vybřežení pravého břehu
[km]	[-]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
1,832	Q_{50}	192,70	196,12	199,72	200,11	NE	NE
1,884		192,84	196,28	197,01	196,90	NE	NE
1,949		193,05	196,53	196,99	196,90	NE	NE
1,964		193,09	196,57	196,95	196,95	NE	NE
1,978		193,14	196,67	197,02	197,02	NE	NE
2,033		193,58	196,72	197,05	197,05	NE	NE
2,245		194,01	197,09	197,44	197,84	NE	NE
2,481		194,76	197,41	197,71	197,76	NE	NE
2,724		195,34	198,05	198,07	197,80	NE	ANO
2,904	Q_{20}	195,69	198,68	198,68	198,16	ANO	ANO
3,057		196,14	199,09	198,98	198,89	ANO	ANO
3,298		196,94	199,75	199,46	199,57	ANO	ANO
3,598		198,06	200,98	200,85	200,68	ANO	ANO
3,768		198,45	201,56	201,86	202,29	NE	NE
3,909		199,23	201,77	202,68	202,62	NE	NE
3,924		199,34	201,92	202,42	202,43	NE	NE
3,933		199,42	201,93	202,13	202,38	NE	NE
4,046		199,11	202,22	202,57	202,65	NE	NE
4,158		199,53	202,25	202,95	202,65	NE	NE
4,244		199,95	202,39	203,07	203,02	NE	NE
4,281		200,00	202,54	204,00	203,99	NE	NE
4,285		200,05	202,52	203,79	203,88	NE	NE
4,300		200,00	202,59	203,48	203,88	NE	NE
4,442		200,20	203,31	203,82	203,84	NE	NE
4,551		200,72	203,53	204,28	204,50	NE	NE
4,586		202,57	203,67	204,21	204,34	NE	NE
4,669		202,38	204,74	204,86	205,16	NE	NE
4,868		203,49	205,34	206,06	206,15	NE	NE
4,967		203,87	205,81	206,14	206,57	NE	NE
5,144		205,08	206,72	207,11	207,04	NE	NE
5,302		206,21	208,17	209,05	209,98	NE	NE
5,376		207,22	208,69	209,70	210,27	NE	NE
5,391		207,33	208,92	209,58	210,54	NE	NE
5,401		207,50	209,22	209,37	210,56	NE	NE
5,543		208,25	210,43	211,57	210,87	NE	NE
5,743		209,55	211,56	215,18	212,72	NE	NE

Tabulka 7.3 – Analýza průběhu hladin – Varianta B

VARIANTA B - $Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{50} = 35,5 \text{ m}^3/\text{s}$							
Staničení	Posuzovaný návrhový průtok	Výšková kóta dna	Výšková kóta hladiny	Levý břeh	Pravý břeh	Vybřežení levého břehu	Vybřežení pravého břehu
[km]	[-]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[m.n.m]	[ANO/NE]	[ANO/NE]
1,832	Q_{50}	192,70	196,12	199,72	200,11	NE	NE
1,884		192,84	196,28	197,01	196,90	NE	NE
1,949		193,05	196,53	196,99	196,90	NE	NE
1,964		193,09	196,57	196,95	196,95	NE	NE
1,978		193,14	196,67	197,02	197,02	NE	NE
2,033		193,58	196,72	197,05	197,05	NE	NE
2,245		194,01	197,09	197,44	197,84	NE	NE
2,481		194,76	197,41	197,71	197,76	NE	NE
2,724		195,34	198,05	198,07	197,80	NE	ANO
2,904	Q_{20}	195,69	198,68	198,68	198,16	ANO	ANO
3,057		196,14	199,09	198,98	198,89	ANO	ANO
3,298		196,94	199,75	199,46	199,57	ANO	ANO
3,598		198,06	200,98	200,85	200,68	ANO	ANO
3,768		198,45	201,56	201,86	202,29	NE	NE
3,909		199,23	201,77	202,68	202,62	NE	NE
3,924		199,34	201,92	202,42	202,43	NE	NE
3,933		199,42	201,93	202,13	202,38	NE	NE
4,046		199,11	202,22	202,57	202,65	NE	NE
4,158		199,53	202,25	202,95	202,65	NE	NE
4,244		199,95	202,39	203,07	203,02	NE	NE
4,281		200,00	202,54	204,00	203,99	NE	NE
4,285		200,05	202,52	203,79	203,88	NE	NE
4,300		200,00	202,59	203,48	203,88	NE	NE
4,442		200,20	203,31	203,82	203,84	NE	NE
4,551		200,72	203,53	204,28	204,50	NE	NE
4,586		202,57	203,67	204,21	204,34	NE	NE
4,669		202,38	204,74	204,86	205,16	NE	NE
4,868		203,49	205,34	206,06	206,15	NE	NE
4,967		203,87	205,81	206,14	206,57	NE	NE
5,144		205,08	206,72	207,11	207,04	NE	NE
5,302		206,21	208,17	209,05	209,98	NE	NE
5,376		207,22	208,69	209,70	210,27	NE	NE
5,391		207,33	208,92	209,58	210,54	NE	NE
5,401		207,50	209,22	209,37	210,56	NE	NE
5,543		208,25	210,43	211,57	210,87	NE	NE
5,743		209,55	211,56	215,18	212,72	NE	NE

7.11 ZHODNOCENÍ VARIANT

Jak již bylo řečeno, Varianta A a Varianta B se výrazně od sebe neliší, protože Varianta B ve své podstatě z Varianty A vychází a rozšiřuje ji. Rozdílné jsou v podkladech a úvahách, které vedly k jejich zpracování.

Kdybychom se podívali na obě varianty z hlediska ekonomického tak zcela jistě je kvůli rozsahu úprav ekonomičtější Varianta A, která neobsahuje rozsáhlé PPO popsané v kapitole 7.6.1 a 7.6.2. a ani výstavbu rekreační zóny v ř. km 4,590. V rámci pohledu metodiky HEM jsou na tom obě varianty přibližně stejně. Obě varianty navrhuji v několika místech opatření pro zlepšení současného stavu vodního toku. Lze také posuzovat míru protipovodňové ochrany přilehlého území, kdy obě varianty splňují požadavky na ochranu před návrhovými průtoky, ale jasným vítězem se stává Varianta B, která chrání mnohem větší plochu území. Bohužel větší míra ochrany ve Variantě B jde na úkor její ekonomičnosti.

Zajisté je velice kladným prvkem idea vzniku rekreační zóny ve Variantě B, která sleduje současné trendy navracení rekreace obyvatel k vodnímu toku a ekologického oživení toku v intravilánu jako takového. Ovšem i různé úpravy koryta toku, které alespoň minimálně posunou koryto toku ke stavu více přirozenému jsou nesporně obrovským přínosem.

8 ZÁVĚR

Předložená diplomová práce se zabývala podrobným popisem, posouzením a v neposlední řadě ideovým návrhem protipovodňových opatření v řešené lokalitě toku Bobrava, jež začíná říčním kilometrem 1,832 a pokračuje až do říčního kilometru 5,743. Tok Bobrava v zájmové lokalitě prochází přes intravilán obce, který bylo třeba ochránit na návrhový průtok $Q_{20} = 25,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

V průběhu vypracovávání diplomové práce jsem řešenou lokalitu, z důvodu odlišnosti využití inundací, rozdělil do třech dílčích úseků. Pro všechny úseky jsem určil kapacitu koryta toku a objektů na něm položených, vykreslil rozlivy jednotlivých návrhových průtoků a v závislosti na těchto zjištěních určil problémová místa.

Překvapivým zjištěním bylo, že téměř celý intravilán obce Želešice není návrhovým průtokem Q_{20} nijak dotčen. Pouze ve dvou lokalitách intravilánu návrhový průtok opustí koryto toku. Mnohem závažnější je zjištění, že rozlehlý průmyslový areál nacházející se na levém břehu podél celého dílčího úseku č. 1 není ochráněn ani na návrhový průtok Q_5 . Jelikož se jedná o rozsáhlý průmyslový areál, navrhl jsem zde ochranu lokální na návrhový průtok $Q_{50} = 35,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

V závislosti na těchto zjištěních, jsem vytvořil ideový návrh protipovodňových opatření, která kombinují opatření přírodě blízká a z důvodu pozemkových poměrů také opatření technická. Pro snadnější orientaci jsem opatření rozdělil do dvou variant – Varianty A a Varianty B, kdy každá z variant zabezpečí ochranu intravilánu obce Želešice a povede ke zlepšení současného stavu toku Bobrava dle metodiky HEM.

Závěrem bych chtěl dodat, že díky složitým pozemkovým poměrům v okolí toku, byla snaha se s úpravou koryta pohybovat pouze na pozemcích, které náleží k toku Bobrava. Zvolený přístup je limitující v rámci úprav protipovodňové ochrany, následkem toho je obtížné vyhovět všem požadavkům přírodě blízkých protipovodňových opatření a zároveň převést návrhový průtok Q_{20} a Q_{50} . Varianty jsou ale i tak koncipovány, aby posunuly řešené koryto toku Bobrava k přírodě bližšímu stavu, než ve kterém ho můžeme najít dnes.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Vodní hospodářství a ochrana vod.: Hydroekologický informační systém VÚV TGM* [online]. Praha: Výzkumný ústav vodohodpodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, 1992 [cit. 2018-11-20]. Dostupné z: <http://heis.vuv.cz/>
- [2] *Geologické mapy* [online]. Praha: Česká geologická služba, 2015 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/geocr_50/
- [3] *Souhrnné mapy VÚMOP* [online]. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2017 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://mapy.vumop.cz/>
- [4] *Povodňový portál - obec Želešice* [online]. Dolní Bousov: VOP Dolní Bousov s.r.o., 2018 [cit. 2018-12-24]. Dostupné z: <https://www.povodnovyportal.cz/povodnovy-plan/zelesice-126>
- [5] *Povodňový plán obce Tetčice*. 1. Brno: ENVIPARTNER, s.r.o., 2013.
- [6] *ČSN 75 7221: Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod*. 2. vydání. Praha: Český normalizační institut, 2017.
- [7] *ZPRÁVA O STAVU VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY* [online]. Ministerstvo zemědělství, Ministerstvo životního prostředí, b.r., , 13 [cit. 2018-12-25]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/271059/Modra_zprava_final.pdf
- [8] KLAJMON, Vladimír a Nataša ZOUNKOVÁ. *Želešice, územní plán obce: A1 - Průvodní zpráva*. 1. Brno: Urbanistické středisko Brno, spol. s r.o., 2004.
- [9] *Digitální povodňový plán ČR* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2004 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: http://www.dppcr.cz/html_pub/
- [10] *Mapy.cz. Mapy.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, 2014 [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <https://mapy.cz/19stoleti?x=16.5832449&y=49.1161822&z=14&l=0>
- [11] SMELÍK, Lukáš. *Návrh metodiky stanovení součinitele drsnosti otevřených koryt*. Brno, 2015. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Hana Uhmánová, CSc.

- [12] LANGHAMMER, Jakub. *HEM 2014: Metodika monitoringu hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků*. 1. Praha,: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 2014.
- [13] LANGHAMMER, Jakub. *HEM 2014: Metodika typově specifického hodnocení hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků*. 1. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 2014.
- [14] VODA V KRAJINĚ: STRATEGIE OCHRANY PŘED NEGATIVNÍMI DOPADY POVODNÍ A EROZNÍMI JEVI PŘÍRODĚ BLÍZKÝMI OPATŘENÍMI V ČESKÉ REPUBLICE. *VODA V KRAJINĚ: STRATEGIE OCHRANY PŘED NEGATIVNÍMI DOPADY POVODNÍ A EROZNÍMI JEVI PŘÍRODĚ BLÍZKÝMI OPATŘENÍMI V ČESKÉ REPUBLICE* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.vodavkrajine.cz/>
- [15] JUST, Tomáš. *Přírodě blízké úpravy vodních toků v intravilánech a jejich význam v ochraně před povodněmi: revitalizace sídelního prostředí vodními prvky*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2010. ISBN 978-80-87457-03-0.
- [16] *Plán hlavních povodí České republiky*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2012. ISBN 978-80-7084-632-2. Dostupné také z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/planovani-v-oblasti-vod/plany-povodi-pro-1-obdobi/plan-hlavnich-povodi-cr/>
- [17] *TNV 75 2103: ÚPRAVY ŘEK*. 1. Praha: Centrum technické normalizace Sweco Hydroprojekt, a.s., 2014.
- [18] ČSN 73 6201. *ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA: Projektování mostních objektů*. 1. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2008.

9.1 FOTODOKUMENTACE

Veškeré obrázky, které nejsou opatřeny citací, byly pořízeny osobně autorem diplomové práce při pochůzce zájmovou lokalitou.

10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 4.1 – Výška hladiny při průtoku Q_1	46
Tabulka 4.2 – Výška hladiny při průtoku Q_2	47
Tabulka 4.3 – Výška hladiny při průtoku Q_5	48
Tabulka 4.4 – Výška hladiny při průtoku Q_{10}	49
Tabulka 4.5 – Výška hladiny při průtoku Q_{20}	50
Tabulka 4.6 – Výška hladiny při průtoku Q_{50}	51
Tabulka 4.7 – Výška hladiny při průtoku Q_{100}	52
Tabulka 5.1 – Spolehlivostní třídy [13]	56
Tabulka 5.2 – Váhy ukazatelů dle skupiny typů	58
Tabulka 5.3 – Klasifikace hydromorfologického stavu úseku	59
Tabulka 5.4 – Výsledek metodiky HEM – úsek č. 1	60
Tabulka 5.5 – Výsledek metodiky HEM – úsek č. 2	60
Tabulka 5.6 – Výsledek metodiky HEM – úsek č. 3	61
Tabulka 5.7 – Hydromorfologická kvalita vodního útvaru	62
Tabulka 6.1 – Vzduť a přelítí mostovky, průtok Q_{20}	65
Tabulka 7.1 – Travní směs pro osetí svahů koryta toku	68
Tabulka 7.2 – Analýza průběhu hladin – Varianta A	78
Tabulka 7.3 – Analýza průběhu hladin – Varianta B	79

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 – Vodohospodářská mapa [1]	13
Obrázek 2.2 – Geologická mapa 1:50 000 [2]	14
Obrázek 2.3 – Legenda k obrázku 2.2 [2]	14
Obrázek 2.4 – Mapa klimatických regionů [3]	15
Obrázek 2.5 – Popis jednotlivých regionů. [3]	15
Obrázek 2.6 – Stupně povodňové aktivity [4]	16
Obrázek 2.7 – Záznam výšky hladin [4]	16
Obrázek 2.8 – Hladinoměr	16
Obrázek 2.9 – Hlásný profil kat. C s hladinoměrem – Želešice, most Družstevní	17
Obrázek 2.10 – Část evidenčního listu hlásného profilu s limnigrafem [4]	17
Obrázek 2.11 – N-leté průtoky v obci Tetčice [5]	18
Obrázek 2.12 – Pohled do soukromého areálu ze severní strany.....	18
Obrázek 2.13 – Pohled do areálu CTPark z lávky L1 pro pěší.....	19
Obrázek 2.14 – Nepovolený odběr	20
Obrázek 2.15 – Jakost vody v tocích ČR rok 2016-2017 [7].....	21
Obrázek 2.16 – Rak signální, fotografie z osobní obchůzky	22
Obrázek 2.17 – Povodeň v roce 2006 [4].....	23
Obrázek 2.18 – Grafická část územního plánu obce Želešice [8].....	23
Obrázek 2.19 – Mapa ploch zatopenými povodní Q_{100} [9]	24
Obrázek 3.1 – Obec Želešice, mapový podklad z konce 19. století [10].....	25
Obrázek 3.2 – Vzorek materiálu dna	26
Obrázek 3.3 – Rozdělení na dílčí úseky, podklad server mapy.cz [10].....	27
Obrázek 3.4 – Ukázka tvaru kynety s vytrženými kameny z opevnění paty svahu, pohled po proudu z lávky L1	28
Obrázek 3.5 – Poškozené opevnění svahu kynety v části úseku č. 1 od ř. km 1,832 do ř. km 1,964	28
Obrázek 3.6 – Degradace paty svahu s porostlými ŽB tvárnici vegetací	29
Obrázek 3.7 – Sesunuté ŽB tvárnice na dno kynety	29
Obrázek 3.8 – Vzrostlá vegetace v kynetě toku.....	30

Obrázek 3.9 – Pohled na ochrannou LB hráz proti proudu	30
Obrázek 3.10 – Lávka L1, ř. km 1,964, pohled z LB ochranné hráze	31
Obrázek 3.11 – Plynové potrubí v blízkosti lávky L1	31
Obrázek 3.12 – Spádový stupeň – železniční pražec	32
Obrázek 3.13 – Propustek DN 500 v LB ochranné hrázi.....	32
Obrázek 3.14 – Tvar koryta v dolní části úseku č. 2, pohled proti proudu.....	33
Obrázek 3.15 – Pohled na stabilizaci paty svahu, horní část úseku č. 2	34
Obrázek 3.16 – Pohled na koryto proti proudu	34
Obrázek 3.17 – Pohled na vyvýšený útvar na levém břehu ze zemědělské plochy	35
Obrázek 3.18 – Přírodní lávka	35
Obrázek 3.19 – Nefunkční odběr vody na pravém břehu	36
Obrázek 3.20 – Typický příčný řez koryta v první části úseku č. 3, pohled proti proudu	37
Obrázek 3.21 – Pohled proti proudu do koryta toku v druhé části úseku č. 3	37
Obrázek 3.22 – Pohled na poškozené opevnění paty svahu kynety.....	38
Obrázek 3.23 – Druhá část úseku č. 3, pohled po proudu.....	39
Obrázek 3.24 – Most M1, ř. km 3,916, pohled proti proudu	39
Obrázek 3.25 – Most M2 s přidruženým potrubím DN 500, pohled proti proudu	40
Obrázek 3.26 – Lávka L2 nalevo, v blízkosti mostu M2.....	40
Obrázek 3.27 – Lávka L3, ř. km 4,551, pohled z pravého břehu.....	41
Obrázek 3.28 – Lávka L4, ř. km 4,868, pohled z pravého břehu.....	41
Obrázek 3.29 – ŽB spádový stupeň, ř. km 4,586.....	42
Obrázek 3.30 – Pohled do koryta Hajanského potoka na soutoku s řekou Bobravou	42
Obrázek 3.31 – Zničená jezová konstrukce s dvěma stavidly v pozadí.....	43
Obrázek 3.32 – Detail poškozeného stavidla	43
Obrázek 4.1 – Schéma výpočtu v programu HEC-RAS.....	44
Obrázek 6.1 – Lokální ucpávka toku v úseku č. 2	63
Obrázek 7.1 – Mapa doporučených druhů PPO na vodních tocích a nivách [15]	66

Obrázek 7.2 – Schéma druhového složení břehového a doprovodného porostu [15]	68
Obrázek 7.3 – Tvar příčného profilu A.....	69
Obrázek 7.4 – Tvar příčného profilu B	70
Obrázek 7.5 – Řez PB ochrannou zdí	70
Obrázek 7.6 – Řez LB ochrannou zdí	71
Obrázek 7.7 – Řez LB ochranným valem	72
Obrázek 7.8 – Příčný profil úpravy toku v ř. km 4,046-4,158.....	72
Obrázek 7.9 – Příčný profil č. 45	73
Obrázek 7.10 – LB ochranný val v ř. km 5,020.....	73
Obrázek 7.11 – Grafická část územního plánu obce Želešice [8].....	74
Obrázek 7.12 – Řez LB ochrannou hrází v ř. km 3,298	75
Obrázek 7.13 – Řez LB ochranným valem	75
Obrázek 7.14 – Rekreační zóna	76

12 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ř.km – říční kilometr

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

RD – rodinný dům

ŽB – železobetonový

SO – stavební objekt

PBPO – přírodě blízké protipovodňové opatření

PPO – protipovodňové opatření

HEC-RAS – Hydrologic Engineering Centres River Analysis System

1D – jednorozměrný model

2D – dvourozměrný model

Q – průtok vody [m^3/s]

Q_{30d} – třicetidenní průtok [m^3/s]

Q_a – průměrný roční průtok [m^3/s]

Q_1 – jednoletý průtok [m^3/s]

Q_2 – dvouletý průtok [m^3/s]

Q_5 – pětiletý průtok [m^3/s]

Q_{10} – desetiletý průtok [m^3/s]

Q_{20} – dvacetiletý průtok [m^3/s]

Q_{100} – stoletý průtok [m^3/s]

Q_N – návrhový průtok [m^3/s]

n – Manningův součinitel drsnosti koryta [-]

PB – pravobřežní

LB – levobřežní

13 SEZNAM PŘÍLOH

B1	SITUACE PŘÍČNÝCH PROFILŮ Č. 1	M 1:5000
B2	SITUACE PŘÍČNÝCH PROFILŮ Č. 2	M 1:5000
B3	SITUACE KAPACITY KORYTA TOKU Č. 1	M 1:5000
B4	SITUACE KAPACITY KORYTA TOKU Č. 2	M 1:5000
B5	PŘEHLEDNÝ PODÉLNÝ PROFIL TOKU	M 1:5000/100
B6	SITUACE POZEMKOVÝCH POMĚRŮ Č. 1	M 1:2000
B7	SITUACE POZEMKOVÝCH POMĚRŮ Č. 2	M 1:2000
B8	SITUACE ROZLIVŮ Č. 1	M 1:5000
B9	SITUACE ROZLIVŮ Č. 2	M 1:5000
C1	PŘEHLEDNÁ SITUACE NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ Č. 1	M 1:5000
C2	PŘEHLEDNÁ SITUACE NAVRŽENÝCH OPATŘENÍ Č. 2	M 1:5000
C3	PODROBNÝ PODÉLNÝ PROFIL TOKU S NAVRŽENÝMI OPATŘENÍMI	M 1:5000/100
C4	SITUACE ROZLIVŮ S NAVRŽENÝMI OPATŘENÍMI Č. 1	M 1:5000
C5	SITUACE ROZLIVŮ S NAVRŽENÝMI OPATŘENÍMI Č. 2	M 1:5000
C6	ŘEZ VYBRANÝM PŘÍČNÝM PROFILEM Č. 21	M 1:100
C7	ŘEZ VYBRANÝM PŘÍČNÝM PROFILEM Č. 22	M 1:100
C8	ŘEZ VYBRANÝM PŘÍČNÝM PROFILEM Č. 23	M 1:100
C9	ŘEZ VYBRANÝM PŘÍČNÝM PROFILEM Č. 24a	M 1:100
C10	ŘEZ VYBRANÝM PŘÍČNÝM PROFILEM Č. 34	M 1:100
C11	ŘEZ VYBRANÝM PŘÍČNÝM PROFILEM Č. 34a	M 1:100
C12	ŘEZ VYBRANÝM PŘÍČNÝM PROFILEM Č. 44a	M 1:100
C13	ŘEZ VYBRANÝM PŘÍČNÝM PROFILEM Č. 45	M 1:100
C14	ŘEZ VYBRANÝM PŘÍČNÝM PROFILEM Č. 45a	M 1:100
D1	SITUACE ROZLIVŮ S NAVRŽENÝMI OPATŘENÍMI Č. 1	M 1:5000
D2	SITUACE ROZLIVŮ S NAVRŽENÝMI OPATŘENÍMI Č. 2	M 1:5000
D3	ŘEZ VYBRANÝM PŘÍČNÝM PROFILEM Č. 27a	M 1:100
D4	ŘEZ VYBRANÝM PŘÍČNÝM PROFILEM Č. 28	M 1:100
D5	ŘEZ VYBRANÝM PŘÍČNÝM PROFILEM Č. 28a	M 1:100
D6	ŘEZ VYBRANÝM PŘÍČNÝM PROFILEM Č. 28b	M 1:100
D7	SITUACE REKREAČNÍ ZÓNY	M 1:500
E1	MAPOVACÍ FORMULÁŘ HEM – ÚSEK Č. 1	
E2	MAPOVACÍ FORMULÁŘ HEM – ÚSEK Č. 2	
E3	MAPOVACÍ FORMULÁŘ HEM – ÚSEK Č. 3	